SCIENCES ET AVENIR

©DENIS BELITSKY/SHUTTERSTOCK

CANCERS AVANT 50 ANS

Mystérieuse épidémie

p.64

88 % DES SCIENTIFIQUES CROIENT EN UNE VIE EXTRATERRESTRE

Seuls ?

À la recherche de la vie ailleurs

p.26

SCIENCES ET AVENIR - N° 944 - OCTOBRE 2025 - SOMMES-NOUS SEULS ?

OCTOBRE 2025 - N° 944 - BEL 5,70€ - LUX 5,70€ - CH 9,50CHF - D 7,40€ - IT 5,70€ - ESP 5,70€ - GR 5,70€ - PORT.CONT 5,70€ - DOM 5,80€ - NCAL 800XPF - MAR 59DH - TUN ETND - CAN 8,20$CAD

L 13418 - 944 - F: 5,30 € - RD

SENSIBILISER MAINTENANT POUR AIDER À PRÉSERVER LONGTEMPS.

Pour ENGIE, acteur majeur de la transition énergétique, sensibiliser les jeunes générations à la préservation des écosystèmes marins est un engagement nécessaire. C'est pourquoi, aux côtés de la FFVoile, ENGIE développe plusieurs initiatives, telles que la conception et la diffusion de supports pédagogiques comme les Chartes du régatier et de la régatière responsable[1]. Car les jeunes régatiers et régatières d'aujourd'hui sont les défenseurs du monde marin de demain.

Pour favoriser un impact plus positif de chacun sur l'environnement, agissons ensemble.

Impact Together for nature[2]

FFVoile | ENGIE

PARTENAIRE OFFICIEL

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

(1) Plus d'informations sur les bonnes pratiques de la Charte du régatier et de la régatière responsable : ffvoile-charte8-14ans-web.pdf

(2) Développons ensemble un impact plus positif pour la nature.
Découvrez le programme Impact Together sur engie.com/groupe/sponsoring-partenariats
Plus d'informations sur les actions d'ENGIE en faveur de la préservation des ressources marines : https://www.engie.com/groupe/responsabilite-societale/objectifs-rse/eau

ENGIE : SA AU CAPITAL DE 2 435 285 011 € - RCS NANTERRE 542 107 651. © FFVoile / Eric Bellande.

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

En quête d'anomalies

Si un extraterrestre placé dans l'axe Terre-Mars avait braqué ses antennes sur nous, il aurait eu trois chances sur quatre (77 %) de capter, durant ces vingt dernières années, les ondes envoyées par la Nasa pour communiquer avec ses rovers et orbiteurs martiens ! Ce résultat, publié fin août par trois chercheurs de l'université d'État de Pennsylvanie, aux États-Unis, rappelle qu'il n'est pas absurde d'orienter nos oreilles vers le cosmos à la recherche d'une « technosignature ». Mais après plus de soixante ans d'écoute, c'est toujours… silence radio. Serions-nous donc seuls dans l'Univers ? Ce n'est pas l'avis des scientifiques : 88,4 % des biologistes et des physiciens pensent que des formes de vie existent ailleurs que sur Terre (*p. 34*). Peut-être se manifestent-elles autrement ? C'est pourquoi la recherche s'est réorientée sur les « biosignatures » (*p. 28*). En septembre, l'administrateur de la Nasa Sean Duffy a évoqué *« le signe de vie le plus évident jamais découvert sur Mars ! »* au sujet de deux minéraux repérés dans une roche par le rover Perseverance. Bien sûr, l'annonce tombe à point quand il s'agit de sauver la mission de retour d'échantillons des menaces d'annulation par l'administration Trump. Il n'empêche. Quand on cherche, on trouve ! Aujourd'hui sur Mars, demain sur une lune océan ? *« Contrairement à Mars, les lunes de Jupiter et Saturne portent la promesse d'une vie potentiellement active »*, assure l'astrochimiste Caroline Freissinet. Ou une exoplanète ? *« Une anomalie : une planète inhabituelle et inexplicable »*, espère l'astrophysicien Franck Selsis (*p. 36*). En attendant, la Nasa se prépare à la meilleure manière d'annoncer la nouvelle (*p. 39*) ! Alors, à quand le prochain « Wow ! », en écho à celui lancé par Jerry Ehman en 1977 lorsqu'il capta un mystérieux signal venu des étoiles ? ■

88,4 % des biologistes et des physiciens pensent que des formes de vie existent ailleurs que sur Terre

VOUS ÊTES ÉTUDIANT
ABONNEZ-VOUS DÈS MAINTENANT
profitez d'une remise exceptionnelle
en scannant ce QR code

SCIENCES ET AVENIR

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (11 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (11 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233.304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Rédacteur en chef Sciences et Avenir Mathieu NOWAK - 01.55.35.56.38
Rédacteur en chef La Recherche Philippe PAJOT - 01.70.98.19.29
Rédacteur en chef digital Olivier LASCAR - 01.55.35.56.15
Rédaction en chef Les Dossiers Vincent REA - 01.55.35.56.35 avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Hugo JALINIÈRE (Sciences et Avenir) - 01.55.35.56.52
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59, Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28, Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Chef(fe)s de service Rachel FLÉAUX (MULOT) (enquêtes) - 01.55.35.56.07, Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46, Hervé RATEL (adjoint, actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78, Mathias GERMAIN (La Recherche, biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33, Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Rédaction Marine BENOIT (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.23 Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27 Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Assistante de direction Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueur Jean-Gabriel GANASCIA
Ont participé à ce numéro : B. BEAUJEU, C. GOYA, E. NICOLAS, M. PARRA, E. TISSANDIÉ
1re secrétaire de rédaction Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Pôle digital Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70, Isabelle DO O'GOMES (cheffe de rubrique, veille) - 01.55.35.56.49, Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24, Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15, Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56, Astrid SAINT AUGUSTE (rédactrice spécialisée) - 01.55.35.56.48, Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Yann BOURDAIS chef de projet junior - Flora ISSINGUI cheffe de projet marketing digital
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines William AFTHONIADES - wafthoniades@challenges.fr
Responsable paye Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Creatoprint
Publicité MediaObs 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directrice de publicité Caroline GILLES - 01.44.88.89.03
Exécution : Émilien RIGNOLS - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable réabonnement : Yasmina FERHAT – 01.55.35.56.64
Responsable du marketing direct Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Partenariats et événements – Alain SCEMAMA - 01.58.65.03.58

Les Éditions Croque Futur
Président, directeur de la publication Claude PERDRIEL
Directeur général Philippe MENAT
Directeur éditorial Maurice SZAFRAN
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,018 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte : une lettre Sciences et Avenir « bienvenue aux abonnés » ainsi que les messages « Challenges » posés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés.
Commission paritaire n° 0225 K 79712.
ISSN 3040-0457. Distribué par MLP.

Nouveau

Citroën ë-C5 Aircross

à partir de 459 €/mois(1)

LLD 48 mois / 40 000 km 1er loyer de 0€

Prime CEE de 4 242€ déduite avec 4 ans d'entretien et d'assistance*

A 0g CO_2/km
B
C
D
E
F
G

JUSQU'À 8 ANS CITROËN, WE CARE GARANTIE

Modèle présenté : Nouveau ë-C5 Aircross Électrique 210ch, autonomie confort, MAX avec options 601€ aux mêmes conditions. (1) Exemple pour la Location Longue Durée du Nouveau ë-C5 Aircross Électrique 210ch, autonomie confort YOU après déduction de la Prime CertiNergy de 4242€. Vous êtes éligibles à ce montant de prime si votre revenu fiscal de référence est inférieur à 26200€ par part fiscale, voir conditions d'éligibilité sur citroën.fr. Offre non cumulable valable jusqu'au 31/10/25 réservée aux personnes physiques éligibles pour un usage privé, dans le réseau Citroën participant, et sous réserve d'acceptation par CREDIPAR, dénomination commerciale Stellantis Finance & Services, SA au capital de 138517008 € · 317425981 RCS Versailles – 43 rue Jean Pierre Timbaud 78300 POISSY · N° ORIAS : 07004921 (www.orias.fr). *Prime CertiNergy pour la valorisation des opérations au titre du dispositif des Certificats d'économies d'énergie : 4242€ non soumis à la TVA. (n° SIREN CertiNergy : 798641999). Montants exprimés TTC et hors prestations facultatives * Prestation facultative, contrat Entretien Plus comprenant l'entretien et l'assistance selon conditions contractuelles sur 48 mois / 40000km (20€ / mois) (au 1er des 2 termes atteint). Les conditions générales de l'offre sont disponibles dans le réseau Citroën.

CITROËN

AUTOMOBILES CITROËN - RCS PARIS 642 050 199

Pour les trajets courts, privilégiez la marche ou le vélo. #SeDéplacerMoinsPolluer

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 944 / Octobre 2025

DOSSIER P. 26

Seuls ?

À la recherche de la vie extraterrestre

Si la traque de civilisations technologiques se poursuit, la quête des signes d'une activité biologique extraterrestre fait désormais l'objet de recherches approfondies. Sur Mars, au cœur des lunes océans de Saturne et Jupiter, et au-delà vers les exoplanètes.

P. 50

Grippe aviaire : une saison à très haut risque

L'influenza aviaire hautement pathogène progresse dans le monde, avec des élevages bovins touchés et des cas recensés chez les humains. La surveillance sanitaire se renforce. Décryptage.

P. 64

La mystérieuse augmentation des cancers précoces

Comment expliquer la hausse des cas de cancers chez les moins de 50 ans alors que ces maladies sont considérées comme liées au vieillissement ? Enquête sur ce phénomène inquiétant.

P. 76

En Alaska, des fouilles d'urgence

Le changement climatique bouleverse la vie du peuple yup'ik : l'élévation du niveau de la mer et la fonte du permafrost vont détruire ses vestiges enfouis. Récit d'une fouille de sauvetage.

3 **Édito** par Mathieu Nowak

SCIENCES FONDAMENTALES

6 **ACTUALITÉS** InSight dévoile l'originalité des entrailles de Mars / La chimie secrète d'une bonne mousse de bière

24 **Journal de l'IA : Des IA trop souvent de votre avis**

42 **La stylométrie envoie les tics d'écriture au tribunal**

46 **Comment rendre l'astronomie moins polluante**

NATURE

10 **ACTUALITÉS** Pollution : les éoliennes en mer sous surveillance / Des plantes lumineuses rechargeables

50 **Grippe aviaire : une saison à très haut risque**

55 **Restaurer le cours naturel des rivières contre les inondations**

58 **Le choix cornélien des flamants roses**

60 **Festival Grand Océan : explorer les abysses**

SANTÉ

16 **ACTUALITÉS** Les vagues de chaleur répétées font vieillir / Une stimulation cérébrale contre la dépression

64 **Cancers précoces : enquête sur une mystérieuse augmentation**

69 **Bactéries miroirs : le vivant face à son double**

72 **Le corps humain ausculté à la loupe**

74 **Nutrition : Viva la pasta !**

HISTOIRE

20 **ACTUALITÉS** Comment la Grande Peur s'est propagée / Le plus étrange des dinosaures

76 **Alaska : fouilles d'urgence avant fonte des glaces**

81 **En Provence, la chasse aux œufs de dinosaures**

84 **Les mégalithes de Carnac enfin reconnus par l'Unesco**

86 **Histoire des sciences : Un palais qui donne ses lettres de noblesse à la science**

RENDEZ-VOUS

90 **Sélection livres**

92 **Expositions**

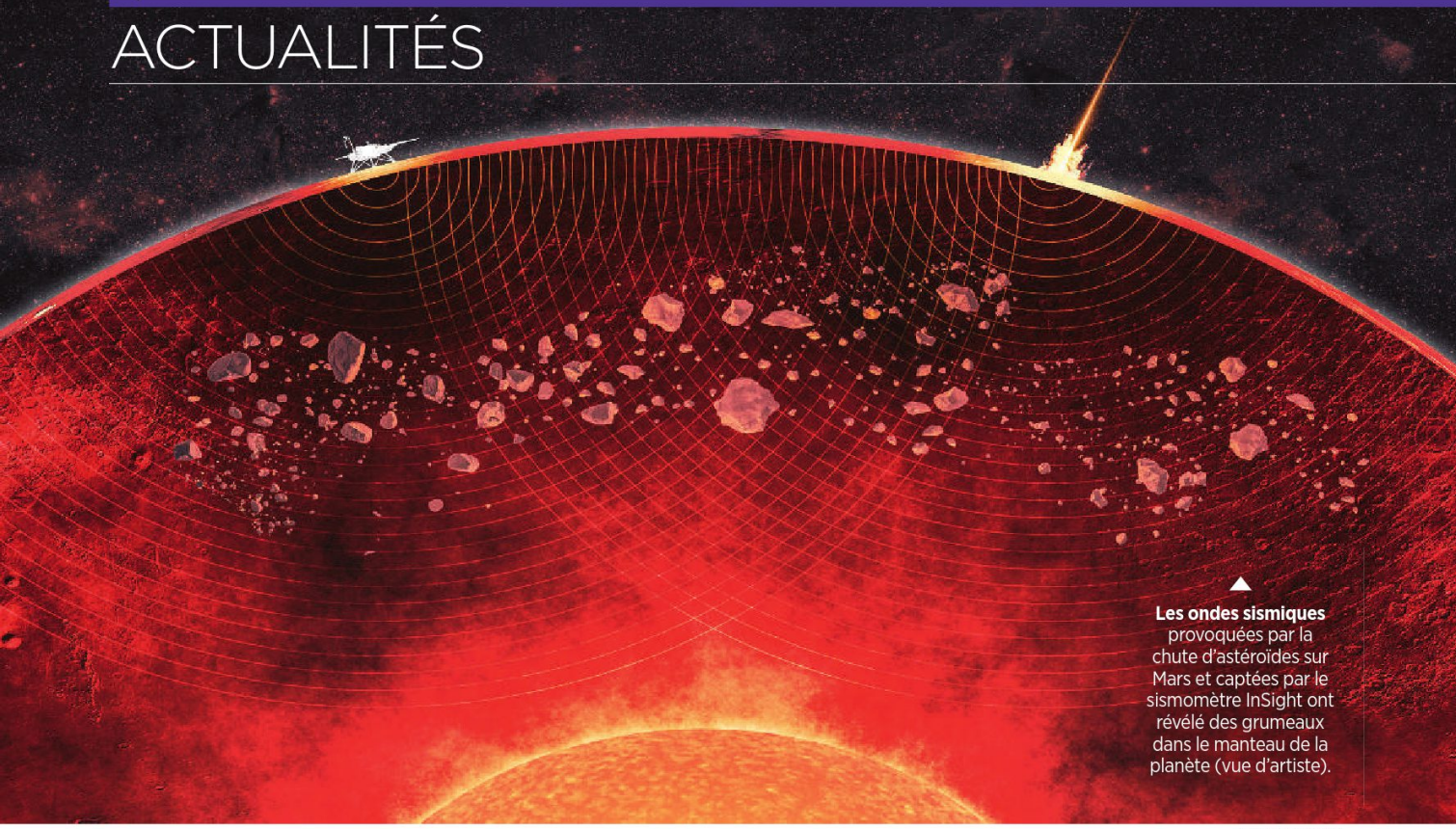
94 **Questions de lecteurs**

95 **Courrier**

96 **Le ciel d'octobre**

98 **À retrouver sur le Web**

NASA/JPL-CALTECH/MSSS - JEAN-LOU ZIMMERMANN / BIOSPHOTO - BARANOZDEMIR/ GETTY IMAGES - CHARLOTTE FAUVE



Les ondes sismiques provoquées par la chute d'astéroïdes sur Mars et captées par le sismomètre InSight ont révélé des grumeaux dans le manteau de la planète (vue d'artiste).

NASA/JPL-CALTECH

InSight dévoile l'originalité des entrailles de Mars

Le sismomètre embarqué par la mission américaine a enregistré une multitude d'hétérogénéités rocheuses de 1 à 4 km de large, à des profondeurs comprises entre 440 et 1400 km.

Trois ans après l'arrêt de la mission InSight de la Nasa, l'étude des données recueillies par son sismomètre continue de fournir de nouvelles découvertes sur les entrailles de Mars. En analysant huit séismes de haute fréquence, une équipe internationale a mis en évidence la nature grumeleuse du manteau. Il contient une multitude d'hétérogénéités rocheuses de 1 à 4 km de large, à des profondeurs comprises entre 440 et 1400 km. *« C'est une grande surprise ! Aucun signal sismique de ce genre n'a jamais été détecté sur notre planète »*, témoigne Philippe Lognonné, de l'Institut de physique du globe de Paris, responsable scientifique du sismomètre. Lorsque les ondes de haute fréquence ont rencontré ces hétérogénéités, elles ont contourné les obstacles et sont parvenues avec un peu de retard jusqu'à l'instrument, permettant d'estimer la taille de ces gigantesques grumeaux. *« Nous pensons qu'ils proviennent des impacts d'astéroïdes au début de l'histoire de Mars,* indique Philippe Lognonné, qui est également coauteur de l'étude. *De telles structures ont probablement été produites aussi sur Terre, mais les phénomènes de convection, bien plus vigoureux que sur Mars, ont brassé et homogénéisé le manteau. »*

Une partie cristallisée de 600 km de rayon

Des sismologues de l'université de science et technologie de Chine, à Hefei, ont fait une autre découverte fascinante en examinant des vibrations ayant traversé Mars jusqu'au noyau (1800 km de rayon). Ils ont identifié deux phases sismiques à l'intérieur de celui-ci ; une discontinuité suggérant que le noyau n'est pas constitué uniquement d'une boule liquide, comme on le pensait jusqu'à présent, mais posséderait une partie cristallisée d'environ 600 km de rayon, à l'instar de la graine solide de la Terre enveloppée d'une partie externe en fusion. *« L'existence de deux phases est bien étayée : quelque chose doit donc les produire à l'intérieur du noyau »*, convient Philippe Lognonné. Mais la présence d'une partie solide ne fait pas encore consensus, précise-t-il. ■ **F. D.**

Succès du nouveau vol de Starship

Ce dixième test de la plus grande fusée jamais construite faisait suite à trois essais s'étant soldés en début d'année par des explosions.

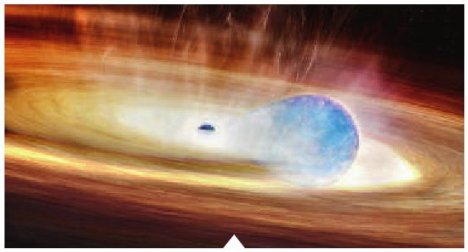
Le lanceur américain Starship a effectué une première mission, après trois pertes en vol et une explosion au sol. Cette deuxième version plus puissante du méga-lanceur de SpaceX a décollé le 26 août de la base de Boca Chica au Texas (États-Unis). En 66 minutes de vol suborbital, l'engin de 121 mètres de haut a accompli tous ses objectifs. Après la séparation du deuxième étage, le premier est revenu plonger dans le golfe du Mexique. Cette manœuvre a permis de simuler la défaillance d'un des moteurs centraux et le bon fonctionnement d'un moteur de secours. Pendant ce temps, le deuxième étage a déployé huit simulateurs de satellites Starlink et a brièvement rallumé un moteur dans l'espace. Il a finalement effectué une rentrée contrôlée dans l'atmosphère et un amerrissage à la verticale dans l'océan Indien. Le Starship, plus puissant lanceur jamais réalisé, a été sélectionné par la Nasa pour poser sur la Lune les deux astronautes de la mission Artemis 3 prévue en 2027. Auparavant, SpaceX doit prouver que son vaisseau est suffisamment fiable pour cela, ce qui nécessitera encore de nombreux tests. **S. R.**

RONALDO SCHEMIDT / AFP

Le lanceur a décollé le 26 août du Texas (États-Unis) pour un vol de 66 minutes.

EN DEUX MOTS

MERCURE Depuis sa formation il y a 4,5 milliards d'années, le diamètre de Mercure s'est réduit de 2,7 à 5,6 km, ont calculé des géologues américains. **ALGORITHMES** La Nasa et IBM ont mis au point une intelligence artificielle capable de prédire l'apparition d'éruptions solaires dangereuses avant qu'elles ne frappent la Terre. **SMARTPHONE** En trois ans, le système d'alerte sismique Android de Google, équipant 2,3 milliards d'appareils dans 98 pays, a détecté 1279 secousses, dont seulement 3 fausses alertes.



MELISSA WEISS/CFA

La rencontre explosive entre une étoile massive (en bleu) et un trou noir a été observée grâce à l'intelligence artificielle (vue d'artiste).

Ce trou noir précipite la mort d'une étoile

ASTROPHYSIQUE Un spectacle cosmique hors du commun s'est joué à environ 730 millions d'années-lumière : un trou noir de dix masses solaires a déclenché la destruction en supernova de sa compagne, une étoile massive de 30 masses solaires. C'est une intelligence artificielle, conçue à l'observatoire Palomar (États-Unis) pour identifier en temps réel des phénomènes inhabituels, qui a donné l'alerte ; elle a permis des observations de suivi avec d'autres instruments pour reconstituer cette rencontre explosive. **F. N.**

Un « univers miniature » observé grâce à l'ordinateur quantique

INFORMATIQUE Des chercheurs de Google Quantum AI, de Caltech (États-Unis) et de l'université de Munich (Allemagne) ont utilisé le processeur quantique Sycamore pour simuler un « univers miniature ». Ils y ont observé comment des charges de particules élémentaires, dans un modèle simplifié, restent liées par des cordes invisibles pouvant vibrer et se rompre. C'est la démonstration que les ordinateurs quantiques pourraient bien devenir des laboratoires pour sonder la matière. **F. N.**

Un circuit imprimé soluble dans l'eau

INGÉNIERIE Pour réduire les déchets électroniques, faciliter le prototypage et le recyclage, le substrat d'un circuit a été imprimé en 3D en alcool polyvinylique, un polymère. Le câblage est un alliage de gallium-indium injecté sous forme liquide et une colle fixe les composants. Le polymère se dissout ainsi en 36 heures dans une eau à 22 °C. Après évaporation, il peut être récupéré ainsi que le métal et les composants, le tout afin de reconstruire un autre circuit. **A. D.**

SOURCE : ZEYU YAN, UNIVERSITÉ DU MARYLAND, ÉTATS-UNIS.

ZEYU YAN/UNIVERSITY OF MARYLAND

La dissolution du prototype électronique facilite son recyclage.

Des cristaux qui respirent

MATÉRIAUX Des chercheurs coréens ont mis au point un matériau qui absorbe et libère de l'oxygène à la demande, comme s'il respirait. Ce cristal, un oxyde de strontium, de fer et de cobalt, expulse une partie de son oxygène en présence d'un mélange gazeux d'argon et d'hydrogène, puis l'absorbe à nouveau si l'environnement est riche en oxygène. Parmi les applications envisagées dans le secteur énergétique, des piles à combustible plus performantes ou des « fenêtres intelligentes » régulant la chaleur. **F. D.**

SOURCE : J. LEE, UNIVERSITÉ NATIONALE DE PUSAN, CORÉE DU SUD.

DFKI, TOBIAS STARK

Les trois engins se sont entraidés pour explorer un tunnel de lave sur l'île de Lanzarote (Espagne).

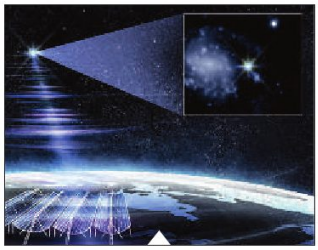
Un trio de robots d'exploration

INGÉNIERIE Sur l'île de Lanzarote, aux Canaries (Espagne), trois robots ont exploré de manière autonome un tunnel de lave, structure souterraine formée par une coulée volcanique. Deux engins ont d'abord cartographié l'entrée de la grotte. Puis l'un d'eux a largué à l'intérieur un cube bardé de capteurs afin d'identifier le chemin le plus sûr. Le plus petit rover s'est attaché ensuite au plus grand pour effectuer une descente en rappel, puis parcourir 235 mètres dans la grotte. Des équipes robotiques de ce genre pourraient inspecter un jour les tunnels de lave présents sur la Lune ou sur Mars. **F. D.**

SOURCE : R. DOMINGUEZ, CENTRE DE RECHERCHE ALLEMAND POUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE.

À l'origine d'un sursaut radio extrême

ASTRONOMIE Les astronomes ont détecté le sursaut radio rapide le plus intense jamais observé. Capté par le réseau canadien Chime, il provient d'une galaxie située à environ 130 millions d'années-lumière dans la Grande Ourse. Grâce à la localisation extrêmement précise du signal, le télescope spatial James-Webb a pu observer cette région et y détecter une signature infrarouge. Il reste à établir le lien entre ce rayonnement et le sursaut grâce à de prochaines observations. **F. N.**



D. FUTSELAAR/MMT OBSERVATORY

Le signal a été localisé par le réseau canadien Chime (vue d'artiste).

La chimie secrète d'une bonne mousse de bière

Des chercheurs suisses ont identifié une protéine qui renforce la stabilité des bulles d'air.

Une protéine issue du malt d'orge, « LTP1 », joue un rôle décisif dans la tenue et la qualité de la mousse de bière, ont découvert des chercheurs de l'École polytechnique fédérale de Zurich (Suisse). Le mécanisme physique varie toutefois selon le type de boisson. Dans les bières à fermentation basse, les *lagers*, souvent peu alcoolisées, cette molécule augmente la viscoélasticité du film liquide microscopique qui entoure les bulles d'air : plus elles en contiennent, plus la mousse sera stable.

PLAINPICTURE

Dans les boissons à fermentation double, en revanche, comme les trappistes belges, la structure des protéines LTP1 est modifiée : elles forment des trames réticulaires qui accroissent la stabilité de la mousse. Et lors d'une troisième fermentation, ces composés se fragmentent. Les parties hydrophiles et hydrophobes agissent alors comme des tensioactifs naturels qui renforcent les parois des bulles et rendent la mousse encore plus résistante. **F. D.**

128

Le nombre de nouvelles sources d'ondes gravitationnelles

ASTROPHYSIQUE Une nouvelle moisson de collisions impliquant des trous noirs et des étoiles à neutrons a été révélée le 29 août par la collaboration Ligo-Virgo-Kagra, qui détecte les ondes gravitationnelles générées par ces événements. Cela double le nombre de ces collisions faisant vibrer l'espace-temps enregistrées depuis la première, en 2015. **F. D.**

matmut

Mutuelle santé

Jusqu'à 150 € remboursés sur vos séances de psy.

Pouvoir être soutenu par un psy et aussi par sa mutuelle, c'est plus juste pour tous.

Support non contractuel à caractère publicitaire. Voir conditions de l'offre en agences et sur matmut.fr. Forfait soutien psychologique : remboursement jusqu'au 31 décembre 2025 de 3 séances par an de 50 €/séance avec un psychologue diplômé dans sa spécialité et inscrit aux registres officiels de l'Assurance Maladie. Hors contrats collectifs en partenariat et contrats de Complémentaire Santé Solidaire et Complémentaire Santé Solidaire avec participation financière. Mutuelle Ociane Matmut, assureur de la garantie Santé : Mutuelle soumise aux dispositions du Livre II du Code de la mutualité. N°Siren 434 243 085. Siège social : 35 rue Claude-Bonnier 33054 Bordeaux Cedex. Matmut - Mutuelle assurance des travailleurs mutualistes - Société d'assurance mutuelle à cotisations variables, immatriculée au RCS de Rouen n°775 701 477. Entreprise régie par le Code des assurances. Siège social : 66 rue de Sotteville 76100 Rouen. Les statuts d'Ociane sont disponibles sur matmut.fr. Annonce Presse Santé 09/25. Saatchi & Saatchi. Crédit photo : Getty Images.

matmut.fr

Pollution : les éoliennes en mer sous surveillance

Les chercheurs ont identifié 228 substances polluantes utilisées dans la construction et l'exploitation des éoliennes.

PATRICK PLEUL/DPA/SIPA

70 % des molécules toxiques proviennent des revêtements de protection contre la corrosion des machines.

Les éoliennes *offshore* relarguent dans la mer des substances synthétiques potentiellement préoccupantes. C'est la conclusion d'une compilation des différentes études sur le sujet qui vient d'être publiée dans la revue *Marine Pollution Bulletin*. Elle a été menée conjointement par l'Institut de recherche pour l'agriculture, la pêche et l'alimentation (Ilvo) belge, l'Agence fédérale maritime et hydrographique allemande (BSH) et l'Ifremer pour la France. Elle s'intéresse principalement aux parcs de la mer du Nord.

Les chercheurs ont identifié 228 substances polluantes utilisées dans la construction et l'exploitation des éoliennes. *« Nous les avons recherchées dans des listes prioritaires établies par l'Agence européenne des produits chimiques (Echa) ou la directive-cadre sur l'eau, entre autres, ce qui nous a permis de déterminer que 62 substances étaient classées comme préoccupantes en raison de leurs propriétés toxiques »*, assure Javier Castro Jimenez, chercheur à l'Ifremer et coauteur de l'article.

Aucune réglementation internationale n'existe

70 % de ces molécules proviennent des revêtements de protection contre la corrosion, 10 % des huiles et lubrifiants nécessaires à l'exploitation par bateau. Le reste peut provenir des systèmes anti-incendie et des matériels de refroidissement des postes qui collectent l'électricité produite. Parmi les substances à la toxicité reconnue par l'Echa, on retrouve des PFAS, des bisphénols, des retardateurs de flamme bromés. 64 % des rejets sont ainsi des composés organiques, contre 19 % des composés inorganiques comme les métaux. Les anodes sacrificielles (système de protection des structures métalliques immergées) relarguent ainsi l'aluminium et le zinc dont elles sont composées.

L'étude est un point de départ pour une réglementation spécifique aux éoliennes *offshore* et la recherche de solutions alternatives à l'usage des produits toxiques. À ce jour, aucun règlement international ne s'applique à ce secteur qui exploite plus de 10 000 éoliennes dans les seules eaux européennes. ■

L. C.

BIOSPHOTO

Le pollinisateur souffre de carences lipidiques.

Un complément alimentaire pour sauver les abeilles

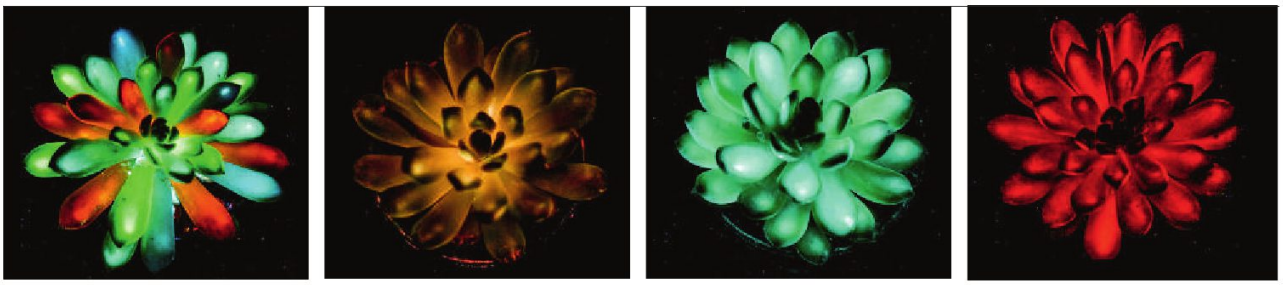
ENTOMOLOGIE Des chercheurs ont mis au point et testé un nouveau type de composé nutritif pour pallier les carences lipidiques des abeilles n'ayant pas accès à une diversité florale suffisante. Des modifications génétiques apportées à la levure *Yarrowia lipolytica* ont permis de lui faire produire six stérols — des lipides — qui font le plus défaut. Les colonies d'abeilles chez lesquelles était intégré ce complément alimentaire ont élevé jusqu'à 15 fois plus de larves que celles qui n'en bénéficiaient pas. **A.-S. T.**

SOURCE : ELYNOR MOORE, UNIVERSITÉ D'OXFORD, ROYAUME-UNI.

4 Le nombre d'espèces de girafe

TAXONOMIE L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a annoncé une *« évaluation révolutionnaire »* de la classification du plus grand mammifère terrestre au monde. Il y a officiellement non plus une seule, mais quatre espèces de girafe distinctes : girafe du Nord, girafe réticulée, girafe masaï et girafe du Sud. Une nouvelle taxonomie établie à partir de différenciations génétique, morphologique (structure du crâne et formes des taches) et biogéographique. **A.-S. T.**

RÊVER
À NOUVEAU
C'EST TOUT UN APPRENTISSAGE
Apprentis d'Auteuil aide chaque année plus de 40 000 jeunes(1) en difficulté à bâtir leur avenir.
Soutenez-nous sur www.apprentis-auteuil.org
APPRENTIS D'AUTEUIL
La confiance peut sauver l'avenir
(1) Selon le rapport d'activité Apprentis d'Auteuil 2024. Agence Marcel - © Yann Le Pape



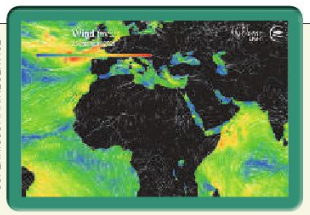
LIU ET AL., MATTER

Après avoir été exposées à la lumière, les plantes grasses modifiées brillent dans différentes couleurs jusqu'à deux heures durant.

Des plantes lumineuses rechargeables

Des chercheurs chinois ont injecté dans des succulentes des particules photoluminescentes qui absorbent les photons puis les réémettent lentement.

Imaginez-vous plongé dans le monde d'*Avatar*, environné de plantes luminescentes vertes, rouges, bleues, jaunes. C'est le futur esquissé par des chercheurs chinois de l'université de Guangzhou. Dans le dernier numéro du journal *Matter*, ils décrivent le procédé pour rendre lumineux des végétaux tout ce qu'il y a de plus commun. Ils ont pour cela injecté des matériaux équipant certains jouets phosphorescents. Des particules photoluminescentes qui absorbent les photons puis les réémettent lentement. Plusieurs espèces végétales ont été testées, mais les meilleurs résultats ont été obtenus avec les succulentes. Grâce à la structure interne de leurs feuilles, très uniforme et spongieuse, contenant de nombreuses poches d'air, les particules phosphorescentes s'y diffusent très facilement et en abondance pour donner une luminosité puissante qui se recharge en quelques heures à la lumière du jour ou sous une lampe LED. Bientôt dans les salons, les balcons et peut-être même au sein des villes sous forme de lampadaires bioluminescents ? **H. R.**



COPERNICUS MARINE SERVICE

À VOIR SUR LE NET

Suivre l'état de l'océan en direct

OCÉANOGRAPHIE Température, salinité, courants, force des vents, oxygénation, acidité, progression et force de la houle… Il est désormais possible de suivre en direct l'état de l'océan au moyen de l'imagerie satellitaire, notamment grâce au programme européen Copernicus. Pas moins de 11 paramètres sont donnés en temps réel par l'organisation intergouvernementale Mercator Ocean. **L. C.**

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

YUSUKE GOTO

« Calonectris leucomelas » vit dans l'océan Pacifique. ◀

Les puffins préfèrent déféquer en vol

ORNITHOLOGIE Grâce à des mini-caméras, des chercheurs japonais ont pu établir que les puffins leucomèles (*Calonectris leucomelas*), oiseaux marins très répandus dans le Pacifique, s'envolent de la surface de la mer toutes les 4 à 10 minutes pour rejeter leurs fientes. Pourquoi cette pratique alors que les battements d'ailes nécessaires à leur envol leur demandent beaucoup d'énergie ? Les chercheurs l'ignorent et promettent aux lecteurs de *Current Biology*, où ont été publiés ces travaux, de retourner sur le terrain pour percer ce mystère. **L. C.**

IL A DIT

« La saison des feux de forêt tend à être plus grave et plus longue chaque année en raison du changement climatique »

Lorenzo Labrador, directeur scientifique de l'Organisation météorologique mondiale, lors de la présentation du bulletin annuel sur la qualité de l'air. Il révèle notamment que les feux de forêt libèrent des polluants pouvant détériorer la qualité de l'air à des milliers de kilomètres de là.

Le vampire qui aimait les gros câlins

ÉTHOLOGIE On peut être animal terrifiant et carnivore aux dents acérées, et aimer être dorloté. *Vampyrum spectrum*, plus communément appelé la chauve-souris javelot ou le faux-vampire de Linné, en est un parfait exemple. Une étude allemande publiée dans *Plos One* dévoile ainsi son jardin secret. Dans l'intimité, les animaux se toilettent en famille, sont très affectueux et se câlinent en s'enveloppant de leurs larges ailes. Une palette de comportements collectifs jamais vus auparavant et qui bat en brèche l'image du chasseur solitaire et asocial. **H. R.**

cité sciences et industrie

conférences

Sept. 2025 - Jan. 2026

TABLES RONDES, PROJECTIONS

La science en dialogue

Évènements gratuits sur réservation. Le programme ici

bitly

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

M > Porte de la Villette
cite-sciences.fr
#Conférences

En partenariat avec

Université Paris Cité · labelvie · Observatoire de l'Azote

Avec le soutien de

Pour la Science · Cerveau & Psycho · FUTURA

Des drones pour nettoyer l'Everest

Lors de la dernière saison touristique, ces appareils ont permis d'évacuer près de 300 kg de déchets laissés par les expéditions.

AIRLIFT TECHNOLOGY / AFP

Les engins ont transporté les déchets du camp 1 de l'Everest, à 6065 mètres d'altitude, jusqu'au camp de base, 700 mètres plus bas.

L'Everest n'est pas seulement le point culminant de la planète — à 8849 mètres d'altitude —, c'est aussi devenu, au fil des expéditions, la plus haute décharge du monde. Bouteilles d'oxygène, vieilles tentes et matériel d'escalade abandonnés, plastiques, excréments, cadavres : des tonnes de détritus jonchent ses flancs. Jusque-là effectuée à dos de sherpas ou par hélicoptère, leur collecte s'appuie désormais sur deux drones porteurs offerts par l'entreprise chinoise Airlift Technology et opérant depuis le camp 1, à 6065 m d'altitude. Lors de la dernière saison touristique, ils ont permis d'évacuer près de 300 kg de déchets de l'Everest, puis 641 kg de l'Ama Dablam (6812 m), autre sommet de l'Himalaya. Il doit maintenant être testé sur le Manaslu (8163 m). Les drones pourront aussi déposer en altitude, au-dessus de la redoutable cascade de glace du Khumbu qui amorce l'ascension vers l'Everest, des bouteilles d'oxygène et du matériel d'escalade, allégeant d'autant les guides et les porteurs. **S. R.**

WANG ET AL

Survivre dans les abysses grâce à la chimie jaune

BIODIVERSITÉ Pour subsister à la toxicité des cheminées hydrothermales qu'il peuple, *Paralvinella hessleri*, un petit ver des abysses, se fait le siège d'une étonnante chimie : il accumule dans les cellules cutanées les particules d'arsenic émises par ces fumeurs noirs, et les fait réagir avec le sulfure des fluides hydrothermaux ainsi que des toxines propres. Il forme ainsi de petits amas jaunes d'orpiment, un minéral moins toxique, autrefois très prisé des peintres du Moyen Âge et de la Renaissance. **E. T.**

SOURCE : HAO WANG, INSTITUT D'OCÉANOLOGIE DE L'ACADÉMIE CHINOISE DES SCIENCES.

En Chine, la grande muraille verte prolongée

GÉO-INGÉNIERIE La Mongolie s'apprête à se mobiliser aux côtés de la Chine pour lutter à son tour contre l'expansion du désert de Gobi, l'un des plus vastes au monde. Depuis 1978, l'empire du Milieu a entrepris de planter des forêts dans le nord du pays, une région frontalière de son voisin mongol, couvrant à ce jour 32 millions d'hectares. Appelée « grande muraille verte », cette barrière écologique permet d'atténuer les tempêtes de sable, qui deviennent de plus en plus violentes. **S. R.**

LIAN ZHEN / XINHUA / AFP

La Mongolie plante à son tour des arbres pour limiter l'expansion du désert de Gobi.

Paris respire mieux

ENVIRONNEMENT Entre 2012 et 2022, le niveau d'exposition de la population parisienne a diminué de 40 % pour les dioxydes d'azote (NOx) et de 28 % pour les particules fines PM2,5, selon Airparif. Mais ce ne sera pas suffisant pour respecter les nouvelles normes de qualité de l'air destinées à réduire la mortalité prématurée, estimée à 1800 décès par an dans la capitale. **L. C.**

80,6 %

La part de requins-baleines blessés par l'humain

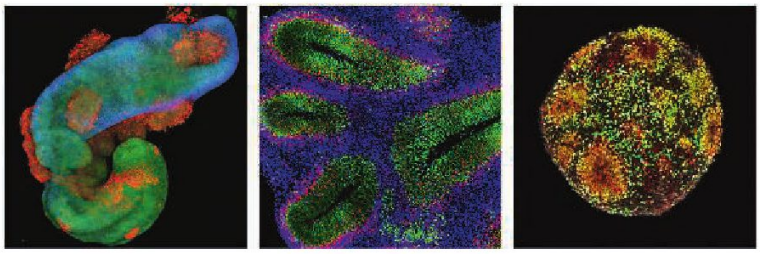
ICHTYOLOGIE Une étude réalisée entre 2010 et 2023 dans la péninsule indonésienne de Bird's Head, en Papouasie occidentale, montre que plus de 80 % des requins-baleines, plus grande espèce de poisson vivante, présentent des cicatrices et blessures dues à des activités anthropiques : abrasions par des bateaux de tourisme ou collisions avec des équipements de pêche. Elles étaient graves (lacération ou amputation) pour 17,7 % des 206 spécimens observés. **S. R.**

SOURCE : EDY SETYAWAN, ELASMOBRANCH INSTITUTE INDONESIA.

C-BRAINS : la révolution des neurosciences franciliennes

Quand l'Île-de-France devient cerveau !

Imaginez un réseau exceptionnel de plus de 200 équipes de recherche, associations, entreprises innovantes et investisseurs visionnaires animés par un même objectif : décrypter les secrets du cerveau et de la cognition. C'est l'ambition de **C-BRAINS**, le programme qui fait de l'Île-de-France un laboratoire du futur. Cet écosystème unique orchestre une recherche transdisciplinaire autour de trois révolutions scientifiques majeures : la génomique fonctionnelle et les neuro-organoïdes, les approches computationnelles de la cognition, et l'intelligence artificielle bio-inspirée.



© Stéphane Nedelec/S Gribaudo, Institut du Fer à Moulin, © Alexandre Baffet, Institut Curie, © Vincent El Ghouzzi, NeuroDiderot

Des mini-organes en 3D (spinoïdes à gauche, organoïdes cérébraux au centre et à droite) sont formés à partir de cellules souches humaines afin d'étudier le développement et les pathologies du cerveau, de la moëlle épinière et des organes des sens.

Des organoïdes qui révolutionnent la médecine

Les **organoïdes** représentent un véritable tournant historique. La communauté francilienne se positionne au sommet mondial de cette technologie de rupture. Le principe est fascinant : transformer des cellules humaines de sang ou de peau en cellules souches pluripotentes, puis en mini-cerveaux ou autres organes en 3D. Ces modèles biomimétiques reproduisent fidèlement le développement des maladies neurologiques et psychiatriques, permettant de tester des candidats-médicaments sur des tissus d'origine humaine. Les premières thérapies révolutionnaires entrent déjà en phases cliniques.

Iseult : le scanner qui révèle l'invisible

Autre prouesse francilienne : le scanner **Iseult** de 11,7 Tesla au CEA-Neurospin. Cette merveille technologique a permis les premières images cérébrales humaines *in vivo* avec une résolution remarquable (<1 mm). Cette révolution positionne la France à l'avant-garde mondiale des neurosciences translationnelles et de la médecine de précision.

Intelligence artificielle, intelligence naturelle

C-BRAINS est aussi la rencontre entre cerveau biologique et intelligence artificielle. Les chercheurs franciliens créent un cercle vertueux : ils s'inspirent à la fois du cerveau pour concevoir des intelligences artificielles plus performantes, mais utilisent également ces outils d'apprentissage profond pour décoder les secrets du fonctionnement cérébral et de la cognition.

Former l'élite et investir dans l'innovation

C-BRAINS rayonne également au-delà des frontières par son **Programme Doctoral International** qui sélectionne chaque année une dizaine de doctorants d'exception parmi plus de 200 candidats du monde entier. Un programme d'investissement doté chaque année d'environ 1,5 million d'euros permet l'acquisition d'équipements de pointe, mutualisés à l'échelle régionale. Les laboratoires franciliens se sont ainsi dotés de *cages intelligentes*, des dispositifs sophistiqués pour l'analyse du comportement naturel des rongeurs, en conditions écologiques, mais également de microscopes miniatures et de systèmes d'enregistrements électrophysiologiques à très haute densité destinés à détecter l'activité des neurones associée à diverses tâches et apprentissages...

Une vision éthique pour l'avenir

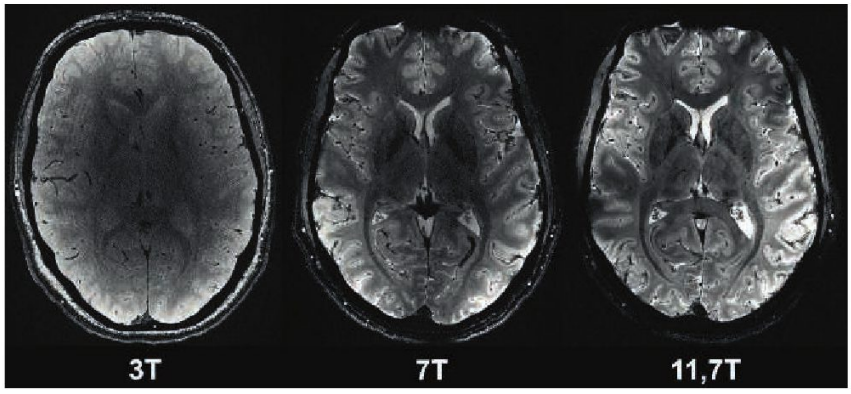
Face aux dérives conceptuelles amalgamant interfaces cerveau-machine et transhumanisme, **C-BRAINS** est aussi porteur d'un message clair : restaurer les fonctions sensorielles et cognitives altérées et prévenir les pathologies neurodégénératives. Cette approche éthique rappelle que la recherche fondamentale reste le socle indispensable aux innovations thérapeutiques révolutionnaires.

Investir dans la recherche d'excellence, c'est façonner l'économie biomédicale de demain et assurer notre souveraineté technologique.

https://dim-cbrains.fr/fr/home

contact@dim-cbrains.fr

IRM 11.7 Teslas Iseult au centre de recherche Neurospin (CEA, Direction de la Recherche Fondamentale, Institut Joliot).



©Francis Rhodes et Neuroimagerie ©Nicolas Boulant

De gauche à droite, plus le champ magnétique de l'IRM augmente, plus la résolution anatomique devient fine.

GABBY JONES/THE NEW YORK TIMES/REA

L'exposition récurrente à des épisodes de canicule accélère le vieillissement, selon une étude.

Les vagues de chaleur répétées font vieillir

12 biomarqueurs ont permis aux scientifiques de déduire un âge biologique potentiellement différent de l'âge chronologique.

Les canicules à répétition accélèrent le vieillissement, conclut une étude réalisée sur quinze ans auprès de presque 25 000 personnes à Taïwan. Tests de respiration, prise de sang, fonction rénale, pression artérielle figurent parmi les 12 biomarqueurs permettant aux chercheurs de déduire un âge biologique potentiellement différent de l'âge chronologique. Exposés à une moyenne de dix vagues de chaleur de deux à quatre jours consécutifs, les participants ont vu leur vieillissement s'accélérer de 0,023 à 0,031 an, soit un vieillissement de 8 à 11 jours pour chaque 1,3 °C supplémentaire. *« Même si le nombre en soi peut sembler faible, au fil du temps et à travers les populations, cet effet peut avoir des répercussions importantes sur la santé publique »*, a commenté Cui Guo, épidémiologiste environnemental à l'université de Hongkong (Chine), qui a dirigé ces travaux parus dans *Nature Climate Change*.

Les travailleurs manuels et ruraux plus touchés

Les effets les plus importants ont été observés sur les travailleurs manuels (+33 jours) et ruraux (+16 jours), plus souvent à l'extérieur que les travailleurs non manuels (+11 jours) et urbains (+10 jours). En revanche, aucun vieillissement prématuré n'était noté chez les participants bénéficiant de climatisation.

Les mécanismes biologiques derrière ce phénomène ne sont pas connus, mais les chercheurs soupçonnent des effets délétères de la température sur l'ADN et en particulier sur ses extrémités, les télomères, dont la longueur est un indicateur de longévité. La chaleur pourrait également endommager les mitochondries, nécessaires à la production d'énergie de nos cellules. Des vagues de chaleur répétées pourraient ainsi submerger les mécanismes de réparation cellulaire et empêcher une récupération complète, en particulier après plusieurs jours consécutifs. À l'été 2025, la France a connu trois vagues de chaleur entre juin et août, totalisant 33 jours de canicule. ■ **C. G.**

ELLE A DIT

« Utiliser un smartphone aux toilettes augmente de 46 % le risque d'hémorroïdes »

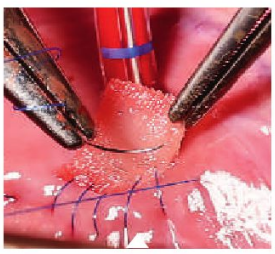
Trisha Pasricha, gastro-entérologue à la Harvard Medical School (États-Unis), coauteure d'une étude montrant que les personnes passent significativement plus de temps aux toilettes lorsqu'elles y utilisent leur smartphone, un facteur de risque connu de dilatation excessive des veines du canal anal.

Une rustine cardiaque bio-imprimée en 3D

CARDIOLOGIE

Des bio-ingénieurs suisses ont mis au point un patch cardiaque pouvant s'intégrer au cœur et réparer les lésions provoquées sur les tissus par un infarctus. Il s'agit d'une structure tridimensionnelle imprimée à partir d'un hydrogel contenant des cellules cardiaques. Greffé chez l'animal, le dispositif a montré qu'il résistait à la pression artérielle et s'adaptait aux propriétés mécaniques du cœur. De quoi permettre une régénération complète des zones lésées. **H. J.**

SOURCE : L. JONES, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE ZURICH, SUISSE.



SOFT ROBOTICS LAB/ETH ZURICH

Le patch a favorisé la réparation des tissus.

Régénérer les dents avec du dentifrice à la kératine

ODONTOLOGIE Mieux que le fluor qui ralentit l'érosion de l'émail, voici la kératine qui le répare. Une équipe a mis en évidence le rôle de minéralisation de cette protéine présente dans le cheveu, permettant à terme d'envisager de réparer l'émail dentaire. Les recherches devraient se concrétiser par la mise au point d'un dentifrice et d'un gel à base de kératine. **S. R-M.**

SOURCE : SARA GAMEA, KING'S COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI.

La nature virtuelle soulage la douleur

ALGOLOGIE Après avoir subi un choc électrique, des participants ont été immergés 45 minutes dans un paysage de nature avec un casque de réalité virtuelle. Un questionnaire et l'imagerie cérébrale révèlent une sensation de soulagement supérieure à la vision du même paysage sur un écran 2D, durable après l'immersion. L'expérience modifie la transmission des signaux de la douleur dans la moelle épinière, ouvrant des pistes pour la prise en charge non médicamenteuse de la douleur. **A. D.**

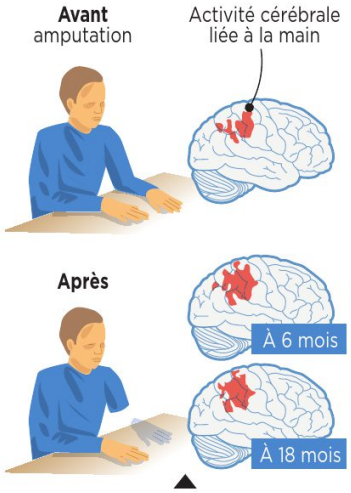
SOURCE : SONIA MEDINA, UNIVERSITÉ D'EXETER, ROYAUME-UNI.

Le cerveau n'oublie jamais les membres amputés

NEUROLOGIE Dans le cerveau des personnes amputées, l'empreinte du membre disparu reste quasiment inchangée, même vingt ans après. C'est ce que montre une étude à partir des IRM de patients avant et après leur amputation. Les zones cérébrales qui contrôlaient le membre continuent de s'activer de la même façon à l'imagerie. La découverte pourrait être exploitée pour la conception de prothèses « neuroguidées », le cerveau étant toujours apte à produire les signaux de contrôle pour les piloter aussi finement que la main ou la jambe disparue. **C. L.**

SOURCE : HUNTER SCHONE, UNIVERSITY COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI.

BRUNO BOURGEOIS/SOURCE : TAMAR MAKIN / HUNTER SCHONE



Les zones cérébrales d'activation de la main demeurent similaires avant et après l'amputation, selon une étude.

NARDUS ENGELBRECHT/AP/SIPA

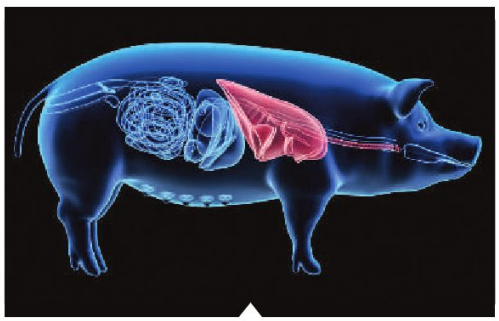
Feu vert européen pour un nouvel anti-VIH

INFECTIOLOGIE La Commission européenne a donné son feu vert à la commercialisation du traitement préventif contre le virus du sida (VIH) du laboratoire Gilead, le Yeytuo. Avec deux injections annuelles suffisant à réduire de 99,99 % le risque de transmission, cet antirétroviral repositionné en prophylaxie pré-exposition pourrait permettre de réduire les 25 000 nouvelles infections enregistrées chaque année dans l'Union européenne. **H. J.**

Première greffe de poumon de cochon à un humain

Prélevé chez un animal génétiquement modifié, l'organe a été transplanté à un patient en état de mort cérébrale.

Une équipe de l'hôpital universitaire de Guangzhou (Chine) a présenté dans *Nature Medicine* la première greffe d'un poumon de cochon génétiquement modifié à un receveur humain. Une technique envisagée dans le but de pallier le manque de greffons disponibles pour les patients en attente d'une greffe. Pour cette opération expérimentale menée avec succès, c'est un homme en état de mort cérébrale de 39 ans qui a reçu l'organe. L'objectif était de vérifier que l'organisme tolère le poumon durant les neuf premiers jours critiques au cours desquels peut survenir le rejet. Le succès de ces xénogreffes réside en effet dans la biocompatibilité de l'organe animal avec le receveur humain. Celle-ci est recherchée grâce à l'édition de dizaines de gènes chez les cochons. À ce jour, ces xénogreffes ont été menées sur des patients vivant avec des reins et des cœurs porcins. Cependant, *« le haut débit de sang et l'exposition externe à l'air font du poumon un organe particulièrement vulnérable aux attaques immunitaires »*, avertissent les auteurs de l'étude. **C. L.**



SPL / SUCRE SALÉ

La compatibilité de l'organe animal avec le receveur humain est permise grâce à l'édition de dizaines de gènes.

Le cerveau Alzheimer des nouveau-nés

NEUROLOGIE
Les nouveau-nés présentent dans leur sang un biomarqueur typique d'Alzheimer, appelé p-tau217, à des taux trois fois plus élevés que chez des seniors atteints de la maladie. Cette protéine disparaît en quelques mois. Comprendre comment les bébés s'en débarrassent pourrait ouvrir la voie à de nouveaux traitements. **C. L.**

SOURCE : F. GONZALEZ-ORTIZ, UNIVERSITÉ DE GÖTEBORG, SUÈDE.

Un collyre pour les presbytes

OPHTALMOLOGIE Un nouveau collyre (Vizz, de Lenz therapeutics) conçu comme une alternative aux lunettes dans la presbytie vient de recevoir le feu vert de la Food and Drug Administration aux États-Unis. Sa molécule, l'acéclidine, agit en contractant le muscle de l'iris, ce qui réduit le diamètre de la pupille d'environ 2 mm. Une instillation quotidienne permet dix heures de vue nette sans lunettes, mais non sans effets secondaires (irritation oculaire, maux de tête). **S. R.-M.**

PHANIE

Administré une fois par jour, le collyre permet de bien voir durant 10 heures.

L'œil de Lascar

« AUJOURD'HUI, *à 70 ans, on est encore un enfant »,* a déclaré Xi Jinping à Vladimir Poutine le 3 septembre, en marge d'un défilé militaire à Pékin, pendant une conversation privée. Dans cet échange capté par les micros, les dirigeants chinois et russe ont alors échangé sur la longévité et les promesses de la biotechnologie, évoquant la possibilité de vivre jusqu'à 150 ans. **O. L.**

382

Le nombre de cas autochtones de chikungunya dans l'Hexagone

INFECTIOLOGIE
Santé publique France a enregistré un record de transmission dans l'Hexagone de cette maladie infectieuse tropicale. Un chiffre dû à la désormais omniprésence en France métropolitaine du moustique-tigre vecteur de ce virus. En tout, 38 foyers de transmission différents ont été identifiés. **H. J.**

Une stimulation corticale contre la dépression

Grâce à un implant, un patient n'a pas connu de rechute depuis l'intervention.

C'est l'histoire d'un homme de 44 ans, dépressif sévère depuis trente ans, en échec de multiples traitements, qui, grâce à une stimulation cérébrale profonde personnalisée — la pose d'un implant —, a ressenti pour la première fois de la joie et a vu ses idées suicidaires disparaître en sept semaines. Cette prouesse a été relatée par l'équipe de Ziad Nahas, de l'université du Minnesota (États-Unis).

Les chercheurs se sont appuyés sur une intervention neurochirurgicale expérimentale encore jamais testée chez l'humain. Nommé Pace (Personalized adaptive cortical electro-stimulation), le dispositif est une stimulation électrique adaptée à l'architecture neuronale spécifique du patient. Au départ, une cartographie de son cerveau par IRM a été établie, précisant de manière ultrafine le fonctionnement de ses réseaux cérébraux connus comme étant liés à la dépression. Puis, en 2023, les chercheurs ont implanté à ce niveau des électrodes avant de les stimuler électriquement. Déclaré en rémission, le patient n'a pas connu de rechute depuis l'intervention. L'expérience est déjà prévue sur d'autres patients. **S. R.-M.**

DAMIEN FAIR, ZIAD NAHAS

Une cartographie des réseaux neuronaux du patient a été réalisée.

Télomères et longévité

En 2009, trois chercheurs américains se sont vu décerner le Prix Nobel de Médecine pour leurs travaux exceptionnels en biologie et génétique, qui ont permis la compréhension des mécanismes de protection de l'ADN au cœur des cellules.

Genèse d'une découverte

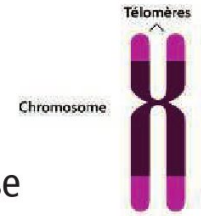
Le mot télomère vient du grec telos (fin) et meros (partie).

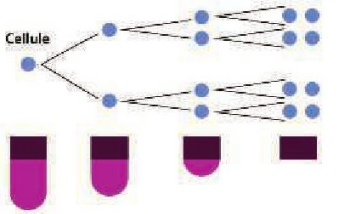
Dans les années 80, Elizabeth Blackburn est professeur de biologie à l'Université de Californie. Elle collabore avec Carol Greider, professeur de biologie moléculaire et Jack Szostak, professeur de génétique, afin d'étudier les mécanismes de protection et de réparation des chromosomes lors de la mitose cellulaire. Leurs travaux cherchent à expliquer comment les divisions cellulaires successives peuvent s'enchaîner sans que les chromosomes ne fusionnent entre eux ou ne s'abiment.

Mitose cellulaire et réplication des chromosomes

Les cellules de l'organisme se reproduisent régulièrement par un processus de division appelé mitose, la cellule initiale se scindant en deux cellules filles identiques qui contiennent le même matériel génétique. Il se produit pas moins de deux trillions de mitoses dans le corps humain chaque jour, ce qui permet de remplacer les cellules mortes ou abimées. Ce grand nombre fait supposer la survenue d'erreurs, c'est pourquoi les chercheurs ont émis l'hypothèse d'un système de protection des chromosomes.

Deux découvertes en une : télomères et télomérase





Les télomères raccourcissent à chaque division cellulaire

Situés aux extrémités de chaque chromosome, les télomères jouent un rôle de protection au moment de la séparation du matériel génétique. En effet à chaque division, ils raccourcissent légèrement, « sacrifiant » leur intégrité pour protéger celle des chromosomes. Le raccourcissement progressif des télomères finit par déclencher la fin du cycle de reproduction de la cellule, appelé sénescence. Les trois scientifiques ont également identifié une enzyme, baptisée télomérase, capable de rallonger les télomères et donc de prolonger la vie des cellules. Ils ont remarqué que cette enzyme n'était active que dans les cellules souches et germinales. Plus le nombre de de cellules sénescentes est grand, plus le vieillissement de l'organisme accélère : la longévité est donc directement liée à la longueur des télomères.

Astragale et télomères,

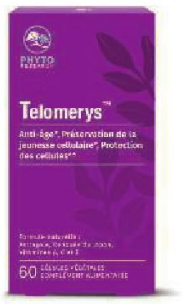
Des scientifiques se sont intéressés à la racine de l'Astragalus membranaceus, une petite fleur très utilisée en médecine traditionnelle comme tonifiant et immunostimulant. Ils ont mis en évidence que ses propriétés étaient dues à deux composés, appelés cycloastragenol et astragaloside IV, qui avaient la capacité de réactiver la télomérase dans les cellules. Après plusieurs années de développement, le laboratoire français PhytoResearch a mis au point une formule naturelle basée sur les résultats de ces avancées scientifiques. Telomerys associe un extrait concentré de racine d'Astragalus membranaceus à du resvératrol, un puissant antioxydant, ainsi que des vitamines A, C et E. Formule anti-âge inédite, deux gélules par jour suffisent pour constater une diminution significative des rides, une amélioration des fonctions cognitives (mémoire, concentration) et un regain d'énergie.

Telomerys™

Préservation de la jeunesse cellulaire

Disponible en pharmacie

Telomerys 60 gélules végétales est disponible grâce au code ACL 602 42 56



Des conseils ?
Les experts du laboratoire PhytoResearch sont à votre écoute au **01 85 42 33 20** et sur www.telomerys.com

G. DAGLI ORTI / BRIDGEMAN IMAGES

Mise à sac de la mairie de Strasbourg le 21 juillet 1789, consécutive à la diffusion massive d'une rumeur.

Comment la Grande Peur s'est propagée

À l'aide d'un modèle épidémiologique, une équipe a reconstitué la diffusion des rumeurs qui ont mené à l'insurrection paysanne après le 14 juillet 1789.

À l'été 1789, après la prise de la Bastille, la rumeur d'une revanche des nobles, voulant détruire les récoltes de blé, submerge la France. Les paysans choisissent alors d'attaquer les châteaux. C'est la Grande Peur, qui s'achèvera le 4 août par l'abolition des privilèges. Pour mieux comprendre comment s'est propagée la rumeur décisive, une équipe franco-italienne a appliqué un modèle épidémiologique d'étude de la propagation des maladies à cet épisode de la Révolution française. L'étude publiée dans *Nature* a reconstruit le réseau par lequel ces bruits se sont propagés à partir de sources mentionnant l'endroit précis où la rumeur a été entendue, souvent la date et parfois même l'heure de la journée. Cette carte numérique comprend en tout 611 liens et 641 nœuds. Elle révèle que la rumeur pouvait parcourir en moyenne 45 km par jour.

La rumeur circulait dans les régions alphabétisées

Mais l'intérêt de la méthode est surtout d'apporter un nouvel éclairage sur les deux interprétations données à cet épisode. La première postule que la Grande Peur représente la montée d'une conscience collective au sein du peuple français s'accordant sur un but commun : abolir les privilèges. La seconde interprétation considère ces réactions comme irrationnelles et met l'accent sur la submersion émotionnelle dans laquelle les paysans se trouvaient. Avec leur modèle épidémiologique, les chercheurs ont pu combiner de nombreux facteurs : géographique, démographique (densité de population), sociaux et économiques. Ils montrent que la rumeur circulait typiquement dans *« un lieu densément peuplé, avec des niveaux d'alphabétisation élevés, un revenu plutôt moyen, mais aussi des prix du blé élevés et un contexte légal favorable à la propriété foncière »*, expliquent les chercheurs. Ce qui contredit la thèse selon laquelle il s'agissait de paysans submergés par la colère. *« La panique a sans doute joué un rôle, mais la Grande Peur n'était pas seulement le résultat d'émotions irrationnelles »*, conclut Stefano Zapperi, de l'université de Milan (Italie), coauteur de l'étude. **C. L.**

Des grenouilles conjurent la sécheresse

ARCHÉOLOGIE Une équipe péruvienne a annoncé la découverte d'une sculpture en argile représentant deux petites grenouilles unies par les pattes arrière, vieille de 3800 ans et attribuée à la civilisation de Caral. Dans la vision andine du cosmos, l'animal est lié à l'eau et l'arrivée des pluies. Découverte à Vichama dans le nord du Pérou, la figurine renforce les messages des reliefs muraux du site relatant des épisodes de pénurie et d'espoir face aux crises environnementales auxquelles la civilisation de Caral a dû faire face. **H. J.**

E. BENAVIDES / AFP

La sculpture de 12 cm est liée à la civilisation de Caral, la plus ancienne d'Amérique.

24 CENTIMÈTRES PAR MINUTE

La vitesse pour déplacer des navires vikings à Oslo

MUSÉOLOGIE D'infinies précautions ont été prises pour protéger trois bateaux vikings — l'*Oseberg*, le *Gokstad* et le *Tune* — lors de leur déplacement dans une nouvelle extension du musée de l'Âge viking d'Oslo (Norvège). Les vénérables coques en chêne de ces trésors nationaux, construits entre l'an 820 et l'an 910, ont parcouru une grosse centaine de mètres en dix heures, suspendus à une grue. **H. J.**

ROBERTO FORTUNA, THE NATIONAL MUSEUM OF DENMARK

Sculptée dans de l'ivoire de morse, la figurine est une pièce d'un jeu viking du x^e siècle.

Le plus fidèle portrait d'une élite viking

ARCHÉOLOGIE Découverte en 1796 dans le fjord d'Oslo (Norvège), cette petite pièce d'un jeu de société viking du x^e siècle était perdue depuis 200 ans dans les archives du Musée national du Danemark. Du haut de ses trois centimètres, la figurine représente pourtant le portrait le plus proche qu'on puisse trouver d'un Viking, selon le conservateur l'ayant redécouverte. Une moustache impériale, une barbe tressée et une raie au milieu : ces détails gravés sur le morceau d'ivoire de morse étaient probablement à la mode parmi l'élite viking. **H. J.**

Le lion de Venise pourrait être « made in China »

HISTOIRE Une analyse chimique effectuée sur le célèbre lion ailé de la place Saint-Marc, à Venise (Italie), révèle que le minerai de cuivre utilisé pour la sculpture a été extrait le long du cours inférieur du Yangzi Jiang, en Chine. Selon les auteurs, il pourrait en fait s'agir du réassemblage d'un *zhènmùshòu*, un « gardien de tombe » de la dynastie Tang (618-907), qui présente des similitudes stylistiques avec le lion vénitien, dont l'origine exacte reste à ce jour inconnue. **H. J.**

SOURCE : GILBERTO ARTIOLI, UNIVERSITÉ DE PADOUE, ITALIE.

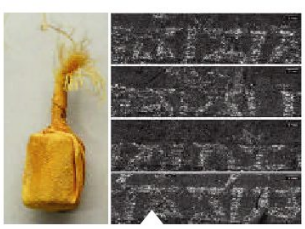
IL A DIT

« Imaginez tenir une dent de mammouth vieille d'un million d'années, conservant encore des fragments des microbes qui coexistaient avec le mammifère »

Benjamin Guinet, postdoctorant au Centre de paléogénétique de Stockholm (Suède). C'est exactement ce qu'il lui est arrivé au cours de vastes investigations ayant conduit à l'identification de plusieurs lignées bactériennes hôtes, certaines connues aujourd'hui pour provoquer des infections chez les éléphants.

Une « écriture magique » percée à jour

ARCHÉOLOGIE Grâce à une technique d'imagerie utilisant des rayons X très intenses, des scientifiques sont parvenus à dérouler virtuellement une *dharani*, une « écriture magique » bouddhique dans la tradition mongole. Elle se présente sous la forme de minuscules rouleaux de papier enveloppés de soie. Des algorithmes ont permis une reconstitution en 3D du fragile document et d'y décrypter un célèbre mantra rédigé en sanskrit : une invocation à la compassion universelle et à la purification de l'esprit. **H. J.**



J.CULHER.2025.06.009

Le minuscule rouleau enveloppé de soie jaune cachait un mantra du bouddhisme tibétain (à droite).

SOURCE : TOBIAS ARLT, CENTRE HELMHOLTZ DE BERLIN, ALLEMAGNE.

LYDIA ZOTKINA

QUESTIONS À

Hugues Plisson,

archéologue, chercheur au laboratoire Pacea de l'université de Bordeaux

L'Asie centrale, autre voie du peuplement de l'Europe ?

Les plus anciennes armatures de flèches connues à ce jour en Eurasie, datées de 80 000 ans, ont été retrouvées dans l'abri-sous-roche d'Obi-Rakhmat, en Ouzbékistan. Leur codécouvreur décrypte leur importance.

Que nous racontent ces micropointes ?
Ces pointes de flèche de 1 ou 2 cm à peine montrent qu'il est possible qu'une première vague d'humains modernes soit arrivée en Europe il y a près de 55 000 ans, non pas en provenance du Levant depuis l'Afrique, mais par l'Asie centrale. Car elles sont identiques à celles découvertes dans une couche beaucoup plus récente (-54 000 ans) de la grotte Mandrin (France).

Comment sait-on qu'elles ne sont pas l'œuvre de Neandertal ?
Parce que l'armement des occupants d'Obi-Rakhmat comprenait des armatures de divers types, pour partie microlithiques et standardisées, ce qui n'est à ce jour documenté que dans les sites d'*H. sapiens*.

Pourquoi une telle trouvaille à cet endroit ?
C'était une zone de subsistance idéale, où vécurent les ancêtres de tous les non-Africains actuels avant leur expansion en Eurasie. Obi-Rakhmat et Mandrin pourraient représenter deux jalons géographiques et temporels d'un même processus marqué par la propagation d'une invention fondamentale propre à *sapiens*. **Propos recueillis par M. B.**

Macabres rituels de victoire au néolithique

ANTHROPOLOGIE Il y a 6300 ans, des dizaines d'hommes, femmes et enfants ont été massacrés lors de macabres rituels en Alsace. À Achenheim et Bergheim, les fouilles ont révélé les restes d'individus dont les membres inférieurs avaient été fracturés, les crânes fracassés et les bras et mains gauches démembrés… Il pourrait s'agir de victimes liées à des célébrations de victoire lors de conflits tribaux. **H. J.**

SOURCE : GWENAËLLE GOUDE, UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE, FRANCE.

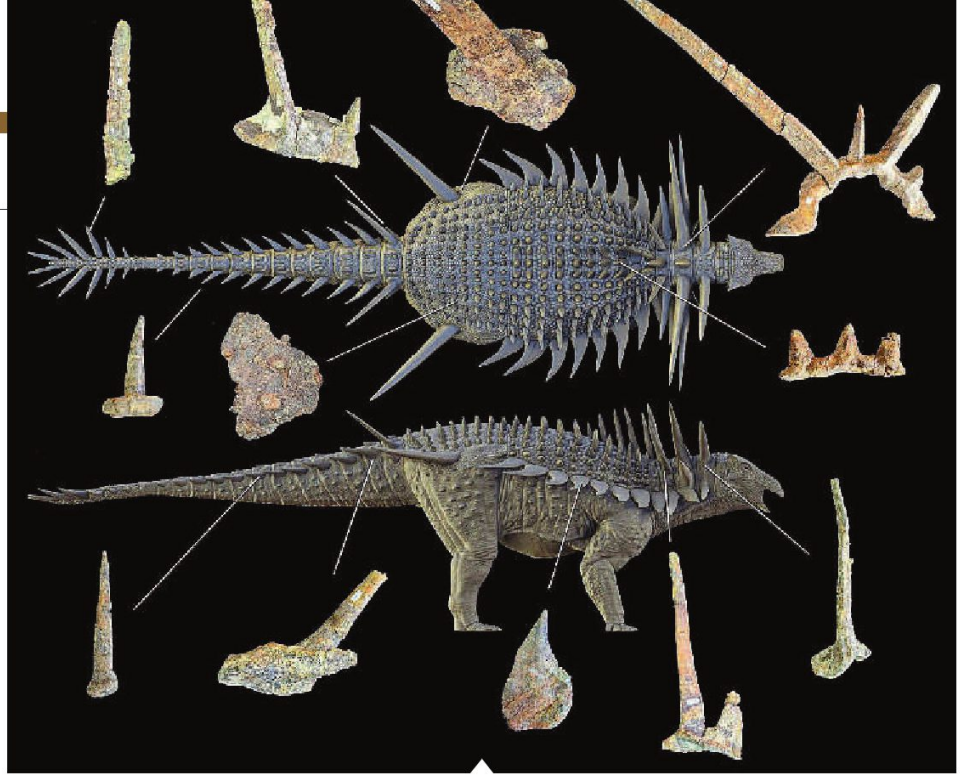
FANNY CHENAL, INRAP

Les squelettes ont été mis au jour près de Strasbourg.

La vache sacrée de Stonehenge

ARCHÉOLOGIE Des analyses de pointe réalisées sur une mystérieuse mâchoire de vache enterrée près de l'entrée sud de Stonehenge (Royaume-Uni) montrent que l'animal était originaire du pays de Galles. Certaines des pierres utilisées pour le célèbre monument mégalithique provenant de cette région, la découverte accrédite l'hypothèse que des bovins auraient pu participer, il y a près de 5000 ans, au transport de ces blocs. **S. de L.**

SOURCE : JANE EVANS, INSTITUT D'ÉTUDES GÉOLOGIQUES BRITANNIQUE, ROYAUME-UNI.



MAIDMENT ET AL.

Les restes fossilisés ont permis de reconstituer l'imposante armure du géant herbivore.

Le plus étrange des dinosaures

Cet ankylosaure découvert au Maroc se parait de nombreuses pointes.

Qui s'y frotte s'y pique ! L'image du *Spicomellus* — littéralement « collier de pointes » — a pu être reconstituée par des paléontologues de l'université de Birmingham (Royaume-Uni) grâce à la découverte d'un nouveau fossile dans l'Atlas marocain. Jusqu'ici, cette espèce d'ankylosaure, la plus ancienne connue, n'avait été décrite qu'à partir d'un fragment d'une seule côte en 2021, daté de 165 millions d'années. Le squelette récemment découvert comprend, lui, six côtes munies de pointes sur leur face supérieure, un bouclier pelvien avec des pointes longues et courtes ainsi qu'un collier osseux doté de deux paires de pointes, dont l'une, presque complète, mesure 87 cm de long. *« C'est l'un des plus étranges dinosaures que nous ayons jamais découverts »*, a précisé Richard Butler, qui a dirigé ces travaux. La découverte montre que l'armure des ankylosaures a eu tendance à se simplifier au fil de leur évolution de -172 à -66 millions d'années. **H. J.**

Une monnaie commune au IVe siècle en Asie du Sud-Est

A. HARRIS ET AL.

NUMISMATIQUE L'étude de 245 pièces d'argent frappées au IVe siècle, ornées d'un soleil levant, trouvées au Cambodge, au Vietnam, au Bangladesh, en Thaïlande et en Birmanie, atteste d'échanges commerciaux de longue distance dans cette vaste zone d'Asie du Sud-Est. Deux d'entre elles, découvertes à 1600 km de distance, ont pu être rattachées au même atelier de frappe de monnaie, en Birmanie. **H. J.**

SOURCE : ANDREW HARRIS, UNIVERSITÉ NATIONALE DE SINGAPOUR.

Aux origines de la peste justinienne

PALÉOGÉNÉTIQUE En identifiant l'ADN de la bactérie *Yersinia pestis* dans un charnier de la ville antique de Gerasa (Jordanie), une étude apporte la première preuve paléogénétique que ce pathogène circulait bel et bien à proximité de l'épicentre de la peste de Justinien, qui frappa le Proche-Orient à la fin de l'Antiquité (541 à 767). **S. de L.**

SOURCE : SWAMY ADAPA, UNIVERSITÉ DE FLORIDE DU SUD, ÉTATS-UNIS.

L'UNIVERSITÉ PARIS CITÉ FÊTE LA SCIENCE !

Comme chaque année, l'Université Paris Cité se mobilise et ouvre ses portes aux curieuses et curieux de tous âges : un moment unique pour rencontrer les scientifiques et explorer la science autrement ! En 2025, plongez dans toutes les formes d'intelligences pour mieux comprendre la santé, la planète et notre société.

PARLONS INTELLIGENCE(S)

DU 3 AU 13 OCTOBRE

Une programmation spéciale vous attend sur tous nos sites et campus

> PLUS DE 40 ÉVÉNEMENTS
> 1 VILLAGE DES SCIENCES
> 7 SITES UNIVERSITAIRES
> ATELIERS FABULEUX
> EXPÉRIENCES INNOVANTES
> CONFÉRENCES INÉDITES
> EXPOSITIONS ÉTONNANTES
> CADEAUX LUDIQUES ...

DÉCOUVREZ LE PROGRAMME JUSTE ICI ↓

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
Liberté Égalité Fraternité

Université Paris Cité

fête de la Science

ANTOINE MOREAU DUSAULT POUR SCIENCES ET AVENIR

Des IA trop souvent de votre avis

Contrairement aux humains, les modèles de langage ne remettent en cause ni les affirmations, ni les comportements de leurs utilisateurs. Des chercheurs ont conçu un test pour détecter cette tendance problématique.

Racontez à un modèle de langage (LLM) que vous avez fini par accrocher votre sac de détritus à un arbre du parc public faute de trouver une poubelle, et il sera compréhensif, vous félicitant même d'avoir eu l'intention de jeter vos ordures (alors que non, on ne laisse pas ses déchets n'importe où). Demandez-lui s'il est normal d'imaginer le pire chaque fois que vos SMS ne reçoivent pas de réponse immédiate, il vous dira que oui (alors que vous-même ne répondez sans doute pas toujours dans la foulée). Ces exemples figurent, parmi d'autres, dans un article de chercheurs en informatique et interaction homme-machine des universités Stanford, Carnegie Mellon (États-Unis) et Oxford (Royaume-Uni).

L'équipe a testé huit LLM parmi les plus connus (Gemini, GPT-4o, Claude Sonnet, Llama 3…) pour exposer un problème aussi notoire que préoccupant : ces outils vont toujours dans le sens de leur utilisateur sans jamais l'inciter à se remettre en question. Au point qu'en avril, cette obséquiosité excessive avait alors poussé OpenAI à annuler une mise à jour de GPT-4o.

L'équipe a constitué une base de 7000 prompts évoquant problèmes intimes et autres conflits relationnels. Une partie provient de diverses études comparant les réponses apportées par des humains et par des LLM, une autre d'un fil thématique du forum Reddit appelé Am I The Asshole ? (Est-ce moi le connard ?), où les internautes exposent une situation vécue pour demander à la communauté qui est à blâmer, eux ou les autres protagonistes. Toutes ces histoires ont donc été soumises aux huit LLM pour que les réponses générées soient comparées à celles des humains.

POUR EN SAVOIR PLUS

▸ OpenAI s'explique sur sa mise à jour de GPT-4o (en anglais) : **sciav.fr/944openai**

Une approbation dans 76 à 90 % des cas

Le bilan est sans appel : selon la typologie des situations (cinq ont été identifiées), les LLM vont dans le sens des internautes dans 76 à 90 % des cas, contre 22 à 60 % pour les réponses apportées par des humains.

Or, le soutien émotionnel, le conseil de vie deviennent l'un des usages des agents conversationnels. La psychothérapie elle-même s'intéresse depuis longtemps à ces outils (Eliza en 1966, Parry en 1972, Therabot en 2025). *« Fournir aux gens ce qu'ils veulent à court terme ne correspond pas nécessairement à ce qu'ils veulent à long terme, ni même à ce qui pourrait leur être bénéfique »*, indique Jared Moore, doctorant à l'université Stanford (États-Unis) et coauteur d'une autre étude sur le sujet. Il n'y a pas forcément de « bonne » réponse, et certaines choses se traitent dans la durée et la nuance. Savoir résister aux émotions suscitées par l'échange avec un patient demande aussi des années d'apprentissage et de pratique. Or, continue Jared Moore, *« il n'y a aucun travail systématique fait sur les modèles de langage pour qu'ils contrent leurs utilisateurs de la même manière que doivent le faire ces experts, et, dans l'idéal, n'importe quel autre interlocuteur. »* ■

Arnaud Devillard

CHATEUROPE

ChatEurope fournit des informations vérifiées et sourcées sur l'Europe.

Un chatbot raconte l'Europe

MÉDIAS Mis en ligne début juillet, ChatEurope* répond à des questions sur l'actualité européenne en se basant sur des contenus fournis par un consortium de médias : agences de presse (dont l'AFP), groupes audiovisuels, quotidiens… L'outil a été développé par la société roumaine Druid Ai en utilisant le modèle de langage du français Mistral. **A. D.**

* CHATEUROPE.EU/FR

IL A DIT

« Mon roi numérique s'incline dans l'honneur et la dignité face au vieux maître de silicium qui m'a vaincu à la loyale »

Le chatbot Copilot de Microsoft, après avoir été battu aux échecs début juillet par le jeu de console Atari de 1979 Video Chess.

GOOGLE

Images, sons et dialogues sont créés à partir de consignes textuelles.

Génération de vidéos dans Gemini

TECHNOLOGIE Depuis juillet, le générateur de vidéos Veo3 de Google est disponible en France dans le cadre d'un abonnement payant à Gemini. La technologie permet d'obtenir non seulement des séquences photoréalistes (à raison de trois par jour d'une durée de huit secondes) à partir d'instructions textuelles dans Gemini, mais aussi le son, voire les dialogues qui vont avec. Le contenu est automatiquement marqué comme artificiel par un filigrane numérique. **A. D.**

LA CHRONIQUE DE
JEAN-GABRIEL GANASCIA*

Tentative de conciliation par algorithme

Popularisées en 2023, après le rachat de Twitter (aujourd'hui X) par Elon Musk pour en assurer la modération, puis promues par Mark Zuckerberg, lors de l'annonce du 7 janvier dernier, pour se débarrasser des officines de vérification des faits (*fact-checking* en anglais) et de leur supposé parti pris, les notes de communauté donnent à un large public de contributeurs patentés — on en dénombrait 133 000 en novembre 2023 — la possibilité d'assurer la modération des réseaux sociaux en dénonçant des contenus faux ou trompeurs. Le principe en est simple : des volontaires annotent les messages qu'ils jugent captieux. On soumet ensuite ces annotations à toute la communauté pour les approuver avant publication. Le « grand art » tient à l'algorithme de comptabilisation des approbations. Afin d'éviter une polarisation trop forte des opinions, on ne se contente pas d'un vote majoritaire. On ne privilégie pas non plus les personnalités les plus engagées, celles qui sollicitent le plus l'attention par le caractère sensationnel de leurs publications. Là, au contraire, on donne un poids plus important à ceux qui firent montre au cours de leurs actions passées de modération, d'empathie et d'une attitude positive. Cela correspond à ce que l'on appelle le « classement fondé sur la conciliation » (*bridging-based ranking*). À première vue, on ne peut qu'en louer le principe. Malheureusement, à l'usage, et ainsi que le montre un article du *Washington Post*, les contributeurs de bonne volonté le jugent fort décourageant, car leur travail leur semble vain : dans le meilleur des cas, seules 30 % de leurs notes, même bien argumentées, et parfois moins de 5 %, sont acceptées… ■

BRUNO LÉVY

* **Professeur à Sorbonne Université,** à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *L'I.A. expliquée aux humains*, Seuil, 2024.

Seuls ?

À la recherche de la vie extraterrestre

Si la traque de civilisations technologiques se poursuit avec l'arrivée de radiotélescopes plus puissants, la quête des signes d'une activité biologique extraterrestre fait désormais l'objet de recherches approfondies. Sur Mars, au cœur des lunes océans de Saturne et Jupiter et au-delà vers les lointaines exoplanètes.

Dossier réalisé par
Franck Daninos

RECHERCHE
La quête des biosignatures extraterrestres p. 28

ENTRETIEN
Franck Selsis, chercheur au Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux p. 36

DIVULGATION
Gare à l'effet « Waouh ! » p. 39

Le rover Perseverance de la Nasa collecte depuis quatre ans des échantillons de roches martiennes qui devraient être rapportés sur Terre d'ici à une quinzaine d'années. Ils pourraient contenir des indices de vie.

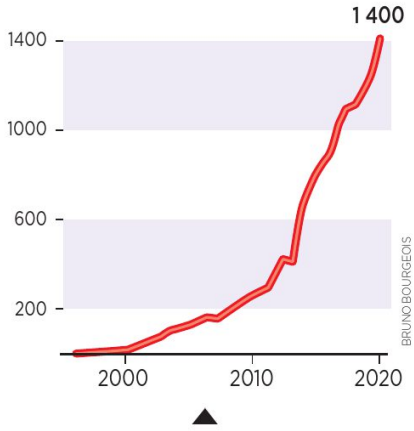
NASA/JPL-CALTECH/MSSS

La quête des biosignatures extraterrestres

La recherche de vie dans l'Univers se tourne aujourd'hui vers les manifestations d'une biologie extraterrestre et moins vers des signes d'activité technologique avancée. Et les plus grands espoirs se portent sur les lunes océans.

Le rover Perseverance de la Nasa a détecté sur Mars ce qui pourrait être les reliques microscopiques d'une très ancienne forme de vie. Lors de ses pérégrinations dans le cratère Jezero, qui abritait un bassin lacustre il y a plus de 3,5 milliards d'années, le robot à six roues a croisé une roche sédimentaire à l'aspect très étrange. Elle comporte des douzaines de petites structures colorées, allant du noir au bleu-vert foncé, ainsi que des motifs blanchâtres cerclés de noir semblables à des « taches de léopard ». Or, les instruments de Perseverance ont révélé que ces mouchetures contiennent du carbone organique, du soufre, du phosphore et du fer oxydé.

Et les analyses publiées le 10 septembre par une équipe internationale de scientifiques indiquent que cette roche recèle deux minéraux — la vivianite et la greigite — intimement associés à la vie ! Sur Terre, la vivianite se rencontre souvent dans des lacs, tourbières et régions côtières où des micro-organismes utilisent le fer pour produire de l'énergie. Quant à la greigite, elle tend à se former lorsque des bactéries décomposent des sulfates. *« Lorsque nous observons de tels minéraux dans des sédiments terrestres, ils sont souvent les sous-produits de métabolismes consommant de la matière organique »*, a précisé Joel Hurowitz, de l'université Stony Brook (États-Unis), auteur principal de l'étude, lors d'une conférence de presse. *« Ce pourrait donc très bien être le signe de vie le plus évident jamais découvert sur Mars ! »*, s'est émerveillé à cette occasion Sean Duffy, administrateur par intérim de la Nasa. La prudence reste néanmoins de mise. Car il existe des manières non biologiques de produire les structures bigarrées identifiées par Perseverance, dans des conditions acides et à haute température notamment. Et pour le moment, *« sur la base des données recueillies*, prévient Joel Hurowitz, *on ne peut pas exclure que ce soit le cas »*.

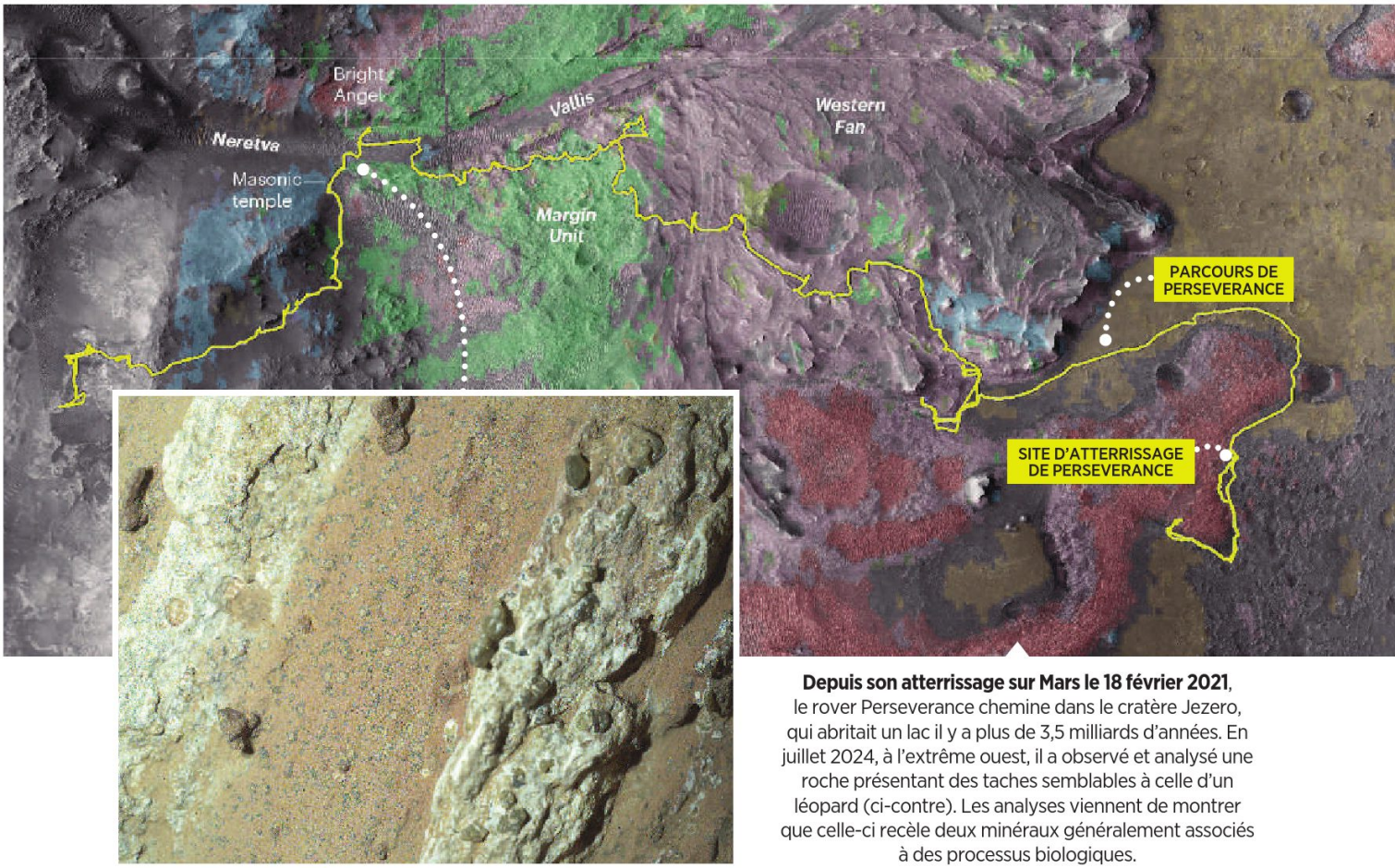


Occurrences du terme « biosignature » dans la littérature scientifique, à partir du moteur de recherche Google Scholar.

Cette découverte illustre on ne peut mieux les espoirs actuels, mais aussi les immenses défis auxquels les scientifiques sont confrontés pour répondre à cette interrogation fondamentale : la vie existe-t-elle ailleurs que sur Terre ou sommes-nous seuls dans l'immensité du cosmos ? Si elle fourmille dans l'Univers — sous forme basique, complexe voire intelligente —, comment l'identifier avec certitude, quelles preuves faut-il spécifiquement débusquer ?

À la recherche de signaux électromagnétiques

Cette quête s'est longtemps focalisée sur la recherche d'intelligences extraterrestres, en détectant les signaux électromagnétiques qu'elles pourraient émettre à différents endroits de la galaxie. Dans la fréquence des ondes radio en particulier, car celles-ci voyagent sur de très longues distances dans l'espace sans être fortement dispersées ou absorbées. Elles



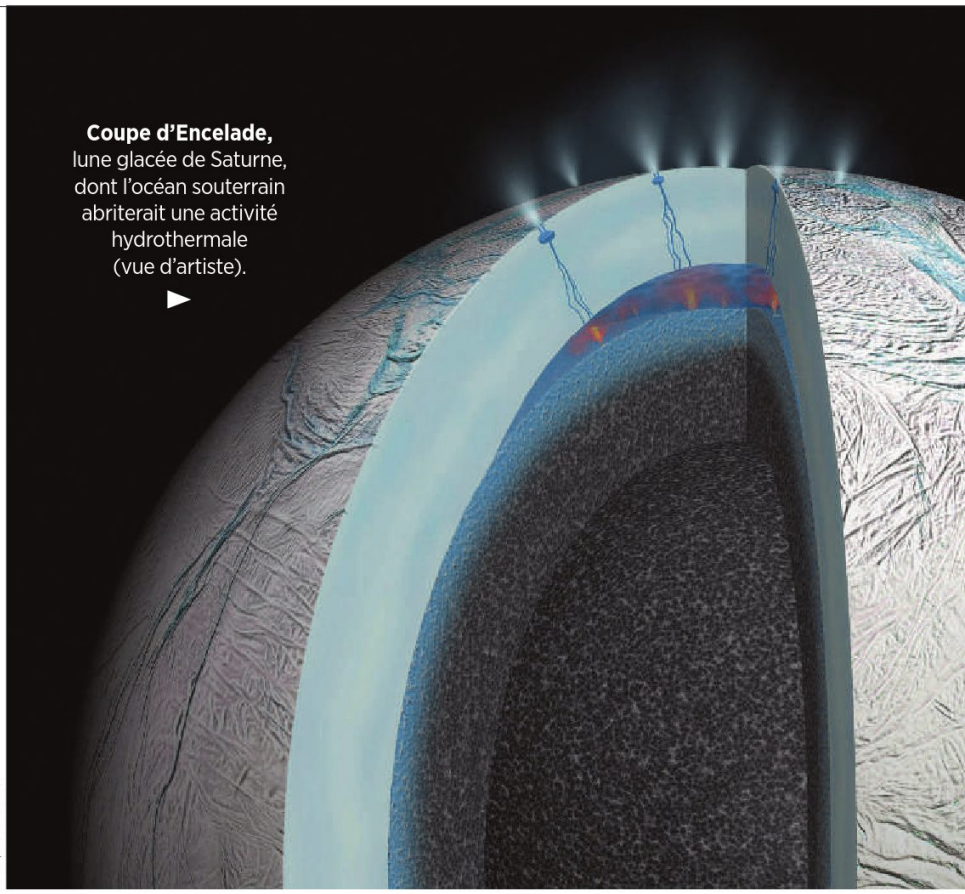
Depuis son atterrissage sur Mars le 18 février 2021, le rover Perseverance chemine dans le cratère Jezero, qui abritait un lac il y a plus de 3,5 milliards d'années. En juillet 2024, à l'extrême ouest, il a observé et analysé une roche présentant des taches semblables à celle d'un léopard (ci-contre). Les analyses viennent de montrer que celle-ci recèle deux minéraux généralement associés à des processus biologiques.

BISHOP J. AND PARENTE, M. MYSTERY MARTIAN MINERALS HINT AT THE PLANET'S COMPLEX GEOCHEMICAL PAST NATURE 645, 317-318 (2025) - NASA/JPL-CALTECH/MSSS

constitueraient ainsi un moyen efficace pour des communications interstellaires, démontrent en 1959 les physiciens Philip Morrison et Giuseppe Cocconi, de l'université Cornell (États-Unis). Les premières « écoutes » sont mises en œuvre dès l'année suivante. Pendant plusieurs mois, l'astronome Frank Drake pointe alors le radiotélescope de Green Bank, en Virginie-Occidentale (États-Unis) en direction de Tau Ceti et Epsilon Eridani : deux étoiles de type solaire qui semblent susceptibles d'avoir des planètes habitées, relativement proches de surcroît, puisqu'elles se situent à une dizaine d'années-lumière de la Terre. *« Bien qu'infructueuses, ces premières initiatives ouvriront la voie à de nombreux autres programmes d'écoute,* rappelle l'historienne Florence Raulin-Cerceau, de l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS). *Elles reposaient aussi, pour la première fois, sur une approche scientifique rigoureuse pour démontrer l'existence d'une vie ailleurs.* »

Une vie qui serait non seulement intelligente, mais capable également — à l'instar de l'humanité — de développer des technologies transmettant des signaux artificiels dans l'espace. On parle ainsi de « technosignatures » pour désigner ce type potentiel de preuves.

Depuis une vingtaine d'années, les recherches de vie extraterrestre ont connu toutefois un tournant majeur. Si la traque de civilisations technologiques se poursuit (*lire p. 32*), une série de découvertes ont coïncidé pour ouvrir de nouvelles perspectives, démultiplier les promesses et réorienter profondément le domaine. *« C'est désormais vers les manifestations mêmes d'une biologie extraterrestre, et non des signes d'activité technologique, que les efforts se concentrent* », observe Florence Raulin-Cerceau. Cela s'est traduit, en particulier, par *« la diffusion d'un nouveau terme dans la littérature scientifique : celui de biosignature,* indique Christophe Malaterre, philosophe des sciences de la vie à l'université du Québec à Montréal (Canada). *Apparue à la fin des années 1990, son utilisation a littéralement explosé depuis une dizaine d'années et complètement pris le dessus sur celui de technosignature* [voir l'infographie ci-contre]. » Cette bascule est motivée, en premier lieu, par l'espoir renouvelé de découvrir d'autres formes de vie dans le Système solaire. Dans les années 1960, lorsque des engins spatiaux ont commencé à explorer les planètes les



Coupe d'Encelade, lune glacée de Saturne, dont l'océan souterrain abriterait une activité hydrothermale (vue d'artiste).

NASA/JPL-CALTECH

plus proches — Vénus et Mars —, la plupart des scientifiques étaient persuadés qu'elles étaient habitables et abritaient des organismes évolués. Mais les missions vénusiennes montrent alors que les conditions sont à proprement parler infernales : en surface, la température dépasse en effet 450 °C et la pression est 90 fois plus importante que sur Terre. Pour Mars, c'est également la douche froide. Lorsque la sonde Mariner 4 la survole en 1965, elle dévoile un monde glacial et désertique *a priori* sans vie. Des microbes pourraient tout de même s'y maintenir, présume la Nasa. Dix ans plus tard, elle dépose ainsi les atterrisseurs Viking afin de mesurer une activité métabolique dans des échantillons du sol. *« Plusieurs expériences visaient à détecter des signes de respiration et de photosynthèse, telles des émissions de dioxyde de carbone »*, rapporte Caroline Freissinet, astrochimiste au Laboratoire atmosphères, observations spatiales (Latmos) à Guyancourt (Yvelines). Aucune preuve concluante ne sera cependant identifiée, ce qui plombera le programme martien de la Nasa pendant une bonne quinzaine d'années.

Des traces possibles d'habitabilité ancienne sur Mars

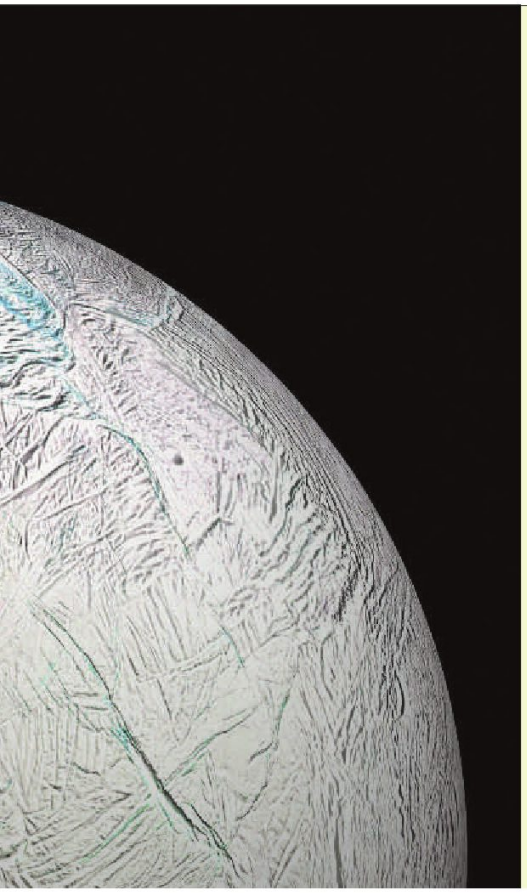
Quand des missions sont lancées à nouveau à partir des années 1990, elles ont alors un autre objectif : étudier l'habitabilité passée de la planète Rouge. Une armada de robots — dont Curiosity qui arpente ses terrains depuis 2012 — révèlent ainsi que notre voisine devait ressembler beaucoup à la Terre dans sa prime jeunesse. Elle possédait des étendues d'eau liquide, un volcanisme actif et un champ magnétique protecteur il y a 3,5 à 4 milliards d'années, soit la période où la vie s'est développée sur notre planète. Les phénomènes ayant eu lieu ici-bas auraient donc pu se produire sur cette jumelle de la Terre, soupçonnent les chercheurs. Pour le savoir, le rover Perseverance analyse et collecte depuis 2021 des échantillons de roches dans le cratère Jezero. Des dizaines de fragments devraient être rapportés sur Terre vers la fin des années 2030, notamment celui, si précieux, comportant ces fameuses « taches de léopard ». *« Ces échantillons auront une valeur immense,* assure Sylvain Bernard, géologue au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. *Car, contrairement à ceux étudiés à distance par les engins spatiaux, nous pourrons les analyser en laboratoire de façon extrêmement fine et complète avec des instruments de pointe. »* Ils représentent ainsi une opportunité inouïe. Peut-être nos meilleures chances de découvrir une vie extraterrestre dans les années qui viennent.

Plus loin dans le Système solaire, autour des géantes gazeuses Jupiter et Saturne, les astronomes ont fait d'autres découvertes fascinantes à partir du début des années 2000. Bien qu'elles se situent à des distances éloignées du Soleil, plusieurs de leurs lunes dissimulent en effet de gigantesques quantités d'eau liquide sous leurs croûtes de glace. Il s'agit d'Europe, Encelade, Callisto, Ganymède, Titan et aussi Mimas, dernier satellite où l'existence d'un océan souterrain a été confirmée en 2024. Les plus intéressantes sont néanmoins Europe et Encelade, car les milieux aquatiques sont en contact avec

CNRS/LATMOS

« Contrairement à Mars, les lunes de Jupiter et Saturne portent la promesse d'une vie potentiellement active »

Caroline Freissinet, astrochimiste au Laboratoire atmosphères, observations spatiales (Latmos) à Guyancourt



ÉCOSYSTÈME

Vivre dans une lune océan

Quelles formes de vie pourraient abriter les océans d'Europe et Encelade, enfouis sous des kilomètres de glace ? *« On est dans la pure spéculation, il y a tellement d'inconnues qu'on peut tout imaginer,* admet l'astrochimiste Caroline Freissinet. *Mais en extrapolant les connaissances que nous avons sur ces lunes et les environnements terrestres qui s'en rapprocheraient, il pourrait s'agir d'organismes unicellulaires extrêmophiles capables de vivre dans des milieux chauds et hypersalins* », à l'instar des archées ayant évolué sur la Terre primitive il y a plusieurs milliards d'années. Ces microbes exploiteraient *« le gradient électrochimique des cheminées hydrothermales présentes sur le plancher océanique* », poursuit la chercheuse. Ils transformeraient l'hydrogène et le dioxyde de carbone en méthane pour alimenter un métabolisme et créer ainsi de la biomasse, même en l'absence de lumière. Un petit écosystème pourrait même se mettre en place. Car certains micro-organismes pourraient évoluer et utiliser le méthane comme source de carbone et d'énergie, tandis que d'autres métaboliseraient la matière organique en décomposition.

un plancher similaire à la croûte terrestre. Un cocktail de minéraux peut par conséquent s'y solubiliser et enrichir chimiquement les océans. Cette interface permet également des échanges de chaleur avec l'intérieur de ces astres, et sans doute aussi des remontées de lave engendrant des cheminées hydrothermales — les mêmes qui, sur Terre, au niveau des abysses, concentrent les espèces chimiques et sont des oasis de vie. Les surfaces d'Europe et d'Encelade sont par ailleurs lardées de crevasses où des geysers expulsent dans l'espace ce que contiennent les océans. Une variété d'espèces chimiques (comme du méthane, du dioxyde de carbone et des composés organiques complexes) a été « reniflée » ainsi au-dessus d'Encelade par la sonde Cassini qui l'a survolée une vingtaine de fois jusqu'en 2017. *« Rien ne prouve encore qu'Encelade est habitée, mais cette lune réunit actuellement les meilleures conditions d'habitabilité à l'exception de la Terre* », avance Caroline Freissinet.

Un peu moins étudiée, Europe possède probablement, elle aussi, cette même richesse moléculaire que les chercheurs supposent nécessaire à la vie. Et assurément un autre atout essentiel : du temps ! Car l'océan interne d'Europe est manifestement aussi vieux que notre planète (on ne connaît pas l'âge de celui d'Encelade), soit près de 4,5 milliards d'années, fournissant un environnement stable pour l'apparition et le maintien d'une éventuelle biologie (*lire l'encadré ci-dessus*). *« Contrairement à Mars où une vie fossile pourrait être mise en lumière, ces lunes portent la promesse d'une vie potentiellement active dans le Système solaire* », s'enflamme Caroline Freissinet.

De nouvelles moissons d'exoplanètes chaque semaine

Mais c'est surtout la détection et l'étude de myriades de planètes extrasolaires qui ont ouvert, ces dernières années, un vaste champ des possibles. Près de 6000 spécimens ont été identifiés à ce jour, dont une grande partie au cours des années 2010 par le télescope spatial Kepler, qui a vraiment lancé la chasse aux exoplanètes. De nouvelles moissons sont réalisées désormais chaque semaine. Et il est admis, aujourd'hui, que presque chacune des 250 milliards d'étoiles de la galaxie possède son cortège de planètes ! Dans les catalogues actuels, on trouve des objets d'une extraordinaire diversité (Jupiters chauds, super-Terres, mini-Neptunes…), dont des dizaines d'exoplanètes rocheuses situées dans la zone dite habitable de leur étoile où de l'eau liquide pourrait exister. Et grâce aux observatoires spatiaux comme le James-Webb (JWST), opérationnel depuis 2022, de plus en plus d'informations peuvent être recueillies sur la composition chimique de leurs atmosphères. Même si cette science est encore balbutiante, elle alimente ainsi d'immenses espoirs de détecter des signes de vie à des dizaines d'années-lumière de la Terre (*lire l'entretien p. 36*). *« Les exoplanètes*

SKAO

Le radiotélescope géant SKA, établi en Afrique du Sud (à gauche) et en Australie (à droite), sera opérationnel en 2028 (vue d'artiste).

DÉTECTION

À l'écoute des étoiles

La radioastronomie reste la technique la plus utilisée pour tenter de détecter une intelligence extraterrestre. Dans les années 1960, *« les recherches de signaux radio artificiels ne concernaient certes qu'une poignée d'étoiles sur une fréquence bien précise »*, rappelle l'astronome Franck Marchis, de l'institut américain Seti : 1420 mégahertz (MHz), celle où l'hydrogène — l'élément le plus abondant de l'Univers — émet des ondes électromagnétiques lorsqu'il est bombardé par des particules énergétiques, par exemple. Une civilisation qui étudierait le cosmos connaîtrait vraisemblablement cette fréquence et pourrait donc l'exploiter pour transmettre un message « universel ». Dès les années 1970, les écoutes ont été élargies à la fenêtre comprise entre 1420 et 1660 MHz, car elle est très peu « bruitée » par des phénomènes naturels et englobe la fréquence d'émission de l'eau, molécule clé de la vie. *« Les cibles et domaines d'écoute n'ont ensuite jamais cessé de s'étendre »*, constate Franck Marchis. Depuis 2007, l'Allen Telescope Array (Californie, États-Unis) a sondé ainsi des dizaines de milliers d'astres dans une bande comprise entre 1000 et 10 000 MHz. Et à partir de 2028, ce sont des millions d'étoiles qui seront scrutées par le radiotélescope Square Kilometer Array (SKA) dans une gamme encore plus élargie ! De nouvelles techniques d'écoute sont développées néanmoins au-delà des émissions radio, à l'instar du projet LaserSeti lancé en 2019. Objectif : repérer des impulsions laser en provenance de l'espace, dans les fréquences de la lumière visible et du proche infrarouge. Par rapport aux signaux radio, ces faisceaux sont plus difficiles à détecter et doivent être nécessairement dirigés vers la Terre. Mais ils sont plus puissants, transmettent beaucoup plus de données par unité de temps et *« ne peuvent être confondus, en l'état des connaissances actuelles, avec un phénomène astrophysique naturel »*, souligne Franck Marchis, qui dirige le projet. Des civilisations avancées pourraient les utiliser pour *« se signaler à d'autres intelligences, communiquer avec leurs sondes interstellaires ou propulser des voiles solaires à différents endroits de la galaxie »*, présume le chercheur. Pour les traquer, son équipe utilise des instruments qui scrutent et analysent de manière automatisée, à l'aide d'une IA, des portions du ciel nocturne. Une dizaine de stations sont déjà positionnées en Californie, en Arizona, à Hawaii et à Porto Rico, d'autres sont en cours d'installation en Espagne et dans l'Himalaya. *« D'ici trois ou quatre ans, nous disposerons d'une couverture totale de la planète »*, se félicite Franck Marchis.

ont ravivé l'idée antique de la pluralité des mondes, la quête d'autres Terres semblables à la nôtre, offrant en tout état de cause des cibles précises et concrètes pour les recherches de vie dans la Voie lactée », analyse Florence Raulin-Cerceau. La donne a donc complètement changé : *« Toutes ces découvertes ont décuplé l'intérêt pour la vie extraterrestre, créant une vague d'optimisme et le sentiment que des réponses décisives se rapprochent* », poursuit l'historienne. Elles ont conféré à ce domaine de recherche *« un caractère scientifique encore plus important que lorsqu'il s'agissait de détecter uniquement des signaux artificiels* », ajoute-t-elle, ouvrant la voie à d'autres types de preuves, à des échelles extrêmement fines et beaucoup plus fondamentales cette fois. *« Pour trouver une vie ailleurs, nous nous sommes longtemps contentés, faute de mieux, d'attendre qu'une intelligence extraterrestre nous contacte,* relève Caroline Freissinet. *Grâce aux progrès de l'exploration spatiale et aux nouveaux télescopes, nous sommes désormais actifs dans les recherches et celles-ci ne sont plus cantonnées à d'hypothétiques civilisations technologiquement avancées.* »

Plutôt qu'une entité intelligente, un micro-organisme primitif

Si l'on découvre une vie extraterrestre dans le Système solaire ou les lointaines exoplanètes, il ne faut ainsi plus s'attendre à des entités intelligentes et évoluées. Il s'agirait plutôt d'organismes primitifs à l'instar des bactéries, les plus anciennes formes de vie apparues sur Terre il y a au moins 3,5 milliards d'années. Et qui sont restées longtemps ses seuls habitants, jusqu'à ce que la vie pluricellulaire émerge il y a 2 milliards d'années puis explose en diversité il y a 600 millions d'années. Mais les micro-organismes représentent encore, actuellement, plus de 95 % des espèces sur notre planète. Et pour fixer les idées, rappelons qu'une espèce intelligente et technologique comme la nôtre n'a été capable d'émettre des signaux suffisamment puissants pour être détectés depuis l'espace que depuis une centaine d'années ! *« Personne ne sait encore si notre planète est la seule à abriter la vie,* rappelle Caroline Freissinet. *Mais si une telle planète existe ailleurs dans le Système solaire et se développe quand les conditions le permettent, c'est sous une forme élémentaire qu'on aurait le plus de chance de la découvrir.* » Ces nouveaux horizons, certes très prometteurs, suscitent d'intenses débats dans la communauté scientifique. Quels éléments faut-il rechercher pour prouver l'existence d'une biologie extraterrestre ? Comment la reconnaître à coup sûr ? Qu'est-ce, au fond, qu'une biosignature ? *« Derrière leur apparente simplicité, ces questions sont d'une complexité redoutable* », atteste Christophe Malaterre. La première difficulté vient du fait que les scientifiques ne s'accordent pas… sur la définition même de la vie ! *« On recense des dizaines d'acceptions, selon qu'on adopte une approche structurelle ou fonctionnelle, par exemple* », précise-t-il (*lire l'encadré ci-dessus*). Les chercheurs n'ont par ailleurs aucune certitude sur la manière dont la vie a commencé à exister sur notre planète. Les preuves les plus anciennes — et suffisamment solides pour faire consensus — concernent des microfossiles de bactéries identifiés dans des roches datant de 3,5 milliards d'années. Mais *« on ne sait rien des étapes antérieures ni des formes de vie qui les ont précédées, qui étaient peut-être multiples et très différentes de celles que nous connaissons,* souligne le géologue. *Certaines biosignatures pourraient par conséquent ne pas être reconnues comme telles — ce qu'on appelle des "faux négatifs".* »

Un vaste éventail de combinaisons moléculaires

La tectonique des plaques, l'érosion et l'enfouissement des roches ont fait disparaître les traces de vie plus précoces ou les ont rendues indéchiffrables. *« Quand on découvre un fossile de dinosaure, on prouve aisément qu'il provient d'un être vivant,* poursuit Sylvain Bernard. *Mais lorsque des bactéries meurent et que leurs fonctions biologiques s'arrêtent, ce qu'il peut en rester à l'issue d'un processus de fossilisation et de milliards d'années*

PROPRIÉTÉS

Des définitions multiples de la vie

Pour définir la vie, la Nasa se fonde sur la description proposée en 1994 par le biologiste américain Gerald Joyce : *« La vie est un système chimique capable de s'auto-entretenir et d'évoluer par sélection naturelle. »* Mais cette acception est loin de faire l'unanimité. En 2011, le généticien Edward Trifonov, de l'université de Haïfa (Israël), a recensé en effet… 123 définitions ! Elles varient selon les disciplines (biologie, chimie, physique…), si l'accent est mis sur les structures (organes, parois cellulaires, macromolécules d'ADN…) ou plutôt sur les fonctions. Et même quand on définit la vie par une série de fonctionnalités, comme la capacité à se reproduire, à encoder de l'information ou à échanger de l'énergie avec le milieu extérieur, il est extrêmement difficile d'établir une liste commune à tous les êtres vivants, certaines entités — tels les virus — possédant certaines propriétés mais pas toutes.

BERNARD

« Lorsque des bactéries meurent, ce qu'il peut en rester à l'issue de milliards d'années est extrêmement difficile à interpréter »

Sylvain Bernard, géologue au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris

d'histoire géologique est extrêmement difficile à interpréter. » Les recherches des plus anciens organismes terrestres sont ainsi jalonnées de controverses où les scientifiques ont débattu sur ce qui provenait ou non du vivant. Les morphologies constituent un bon exemple. La vie microbienne produit en effet une variété de formes, à commencer par des parois sphériques, hélicoïdales, tubulaires, etc. Elle engendre aussi des architectures complexes comme les stromatolithes, structures laminées ressemblant à des dômes ou tapis ondulés créées par des couches successives de micro-organismes.

C'est sous cet aspect que les plus vieux fossiles bactériens ont été dénichés en Australie-Occidentale. Mais des concrétions minérales peuvent produire des agencements ressemblant à s'y méprendre aux stromatolithes, des « faux positifs » qui ont souvent trompé les paléontologues. En 1996, des chercheurs de la Nasa s'étaient eux aussi fourvoyés en observant, dans la météorite martienne ALH84001, d'infimes structures filamenteuses et tubulaires. Interprétées comme des microfossiles de bactéries, elles résultaient en réalité de précipités chimiques de magnétites, de sulfures et de carbonates. *« Les morphologies ne sont donc pas des arguments très solides même si elles orientent les investigations »*, note Sylvain Bernard.

UQAM

« Le concept de biosignature doit être compris le plus souvent non comme une preuve solide mais un indice potentiel »

Christophe Malaterre, philosophe des sciences de la vie à l'université du Québec à Montréal (Canada)

Puisque toutes les formes de vie connues fabriquent et utilisent des molécules organiques (acides aminés, lipides, glucides, etc.), ces composés constituent eux aussi des cibles de choix pour chercher des traces de vie sur la Terre ou dans des milieux extraterrestres. Ils sont fondés sur la chimie du carbone, atome qui s'associe à une variété d'éléments (hydrogène, oxygène, phosphore…) et engendre un éventail de combinaisons moléculaires que les organismes exploitent pour leurs fonctions biologiques. Sous l'effet des rayonnements cosmiques et ultraviolets, la chimie froide de l'espace produit cependant, elle aussi, une multitude de composés carbonés. Près d'une centaine d'acides aminés ont ainsi été décelés dans la météorite de Murchison (tombée en Australie en 1969), beaucoup plus que les 22 qui structurent les protéines des cellules. On n'a certes encore jamais déniché, dans une roche extraterrestre, de macromolécules organiques tels des protéines ou un brin d'ADN contenant des milliers ou millions d'atomes de carbone. *« On serait alors quasiment certain d'avoir trouvé la vie… mais on pensera immédiatement à une contamination terrestre,* s'exclame Sylvain Bernard. *Car si la vie a existé sur Mars, il n'y a aucune raison qu'elle ait pris exactement le même chemin que sur Terre et abouti à une machinerie chimique identique.* »

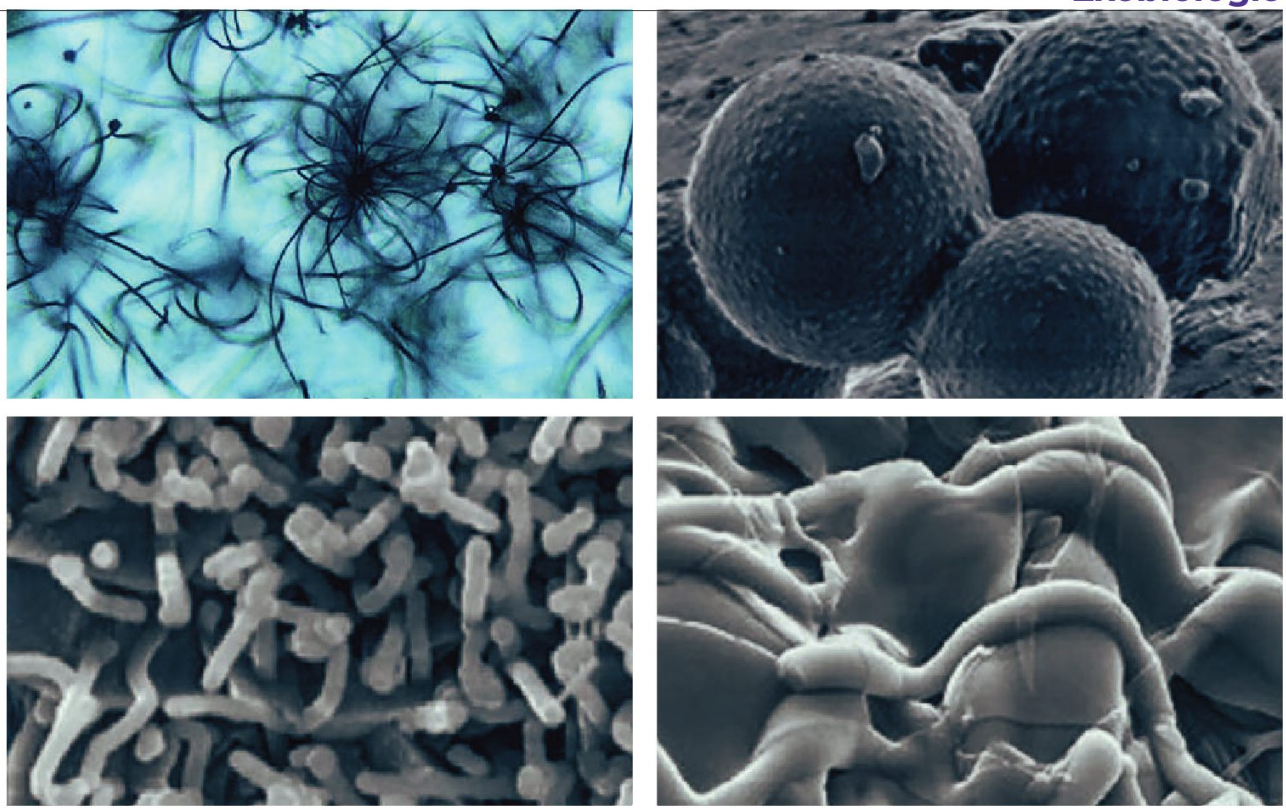
Imaginer des biosignatures les plus « agnostiques » possible

Pour chercher la vie ailleurs, les scientifiques essaient ainsi de *« se décorréler au maximum de la biologie terrestre »*, explique Caroline Freissinet, même si l'objectif est extrêmement difficile — et forcément biaisé — puisque c'est la seule qu'ils connaissent pour le moment. Ils s'efforcent d'imaginer des biosignatures qui seraient les plus universelles possible, les plus agnostiques par rapport aux systèmes auxquels ils sont habitués. L'une de ces approches vise à identifier des dis-

ÉTUDE

Les croyances des scientifiques

Près de neuf scientifiques sur dix croient en l'existence d'une vie extraterrestre, révèle une étude publiée en janvier dans *Nature Astronomy*. Plus de 1000 chercheurs ont été interrogés au Royaume-Uni et en Suède pour cette enquête — *« la première du genre »*, se félicite Peter Vickers, professeur à l'université de Durham (Royaume-Uni) et premier auteur. Une moitié d'entre eux étaient spécialisés en astrobiologie, science qui étudie les possibilités d'apparition et d'évolution de la vie dans l'Univers, les autres étant biologistes ou physiciens. 86,6 % des astrobiologistes ont ainsi répondu qu'ils étaient *« d'accord »* ou *« tout à fait d'accord »* avec l'idée que des formes de vie existent ailleurs que sur Terre, au niveau élémentaire tout du moins. Le pourcentage est également très élevé chez les biologistes et les physiciens (88,4 %), montrant que *« cette croyance est uniformément répandue et ne semble pas influencée par le champ disciplinaire, contrairement à une idée reçue »*, note Peter Vickers. Pour ce qui concerne l'existence d'une vie extraterrestre complexe ou intelligence, les scores sont en revanche un peu plus importants chez les astrobiologistes (67,4 %) que chez les autres chercheurs (58,2 %).



S. MCMAHON & J. COSMIDIS, 2021

Divers phénomènes semblables à la vie, issus de processus physico-chimiques, peuvent induire les chercheurs en erreur. Ils sont appelés des « faux positifs » (ici, des filaments, microsphères et particules abiotiques qui pourraient être trouvés sur Mars).

tributions de molécules qui résulteraient de l'action sélective d'un processus biologique et non du hasard, sans présager du type de composé ni de la répartition que l'on recherche. Car les synthèses purement chimiques favorisent les espèces les plus simples. Dans la météorite de Murchison, le plus basique des acides aminés (la glycine, contenant deux atomes de carbone) est ainsi le plus abondant. Or, on ne retrouve pas de telles répartitions statistiques au sein des protéines cellulaires, où la leucine (six atomes de carbone), à titre d'exemple, est l'un des acides aminés les plus représentés.

Une démarche similaire se focalise sur les formes « isotopiques » d'un même élément, de carbone ou de soufre par exemple, qui ne possèdent pas le même nombre de neutrons dans leurs noyaux atomiques et dont les masses sont légèrement différentes. Or, les organismes biologiques privilégient les isotopes plus légers (tel le carbone-12 par rapport au carbone-13), car plus faciles à intégrer dans leurs métabolismes. *« De tels enrichissements seront typiquement recherchés dans les échantillons de Perseverance »*, indique Caroline Freissinet. Mentionnons enfin un troisième type de biosignature agnostique : la symétrie des molécules. Pour des raisons de stabilité, les acides aminés et les sucres d'origine biologique ne sont utilisés en effet que sous certaines configurations tridimensionnelles : à l'instar de nos mains droite et gauche, elles ne sont pas superposables à leur image dans un miroir plan. *« La plupart des missions programmées ou envisagées vers Mars et les lunes océans du Système solaire embarqueront des instruments différenciant les formes droite et gauche des molécules »*, signale Caroline Freissinet, telle la mission Orbilander qui devrait s'envoler vers Encelade en 2040.

Même si ces marqueurs sont considérés comme très convaincants, *« ils ne constitueraient en aucun cas une preuve définitive »*, tranche Sylvain Bernard. Car les scientifiques ont pu démontrer, à chaque fois, dans des conditions et proportions certes très particulières, que des mécanismes non biologiques pouvaient engendrer les mêmes phénomènes. *« Le fait est que nous n'avons toujours pas trouvé d'indicateurs qui identifieraient de façon univoque le vivant. Tout ce que la vie produit, des processus abiotiques peuvent aussi le faire »*, concède le géologue. Les chercheurs ne connaissent donc pour le moment aucune véritable biosignature : un concept pratique qui simplifie le discours, *« mais qui est associé à de multiples inconnues, ambiguïtés, et doit être compris le plus souvent non comme une preuve solide mais un indice potentiel »*, retient Christophe Malaterre. D'où la stratégie actuelle des scientifiques : réunir un faisceau d'éléments qui iraient tous dans le sens d'une activité biologique, et étudier autant que possible les environnements extraterrestres d'intérêt afin d'éliminer peu à peu les explications alternatives. *« L'hypothèse de la vie est celle que nous devrons considérer en dernier »*, rappelle Caroline Freissinet. Une enquête qui s'annonce passionnante mais ne fait ainsi que débuter. ■

FRANCK SELSIS
DIRECTEUR DE RECHERCHE CNRS AU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE DE BORDEAUX

« Il faut une planète inhabituelle et inexplicable »

L'astrophysicien Franck Selsis explique que la prochaine génération de télescopes spatiaux pourra analyser, par imagerie directe, les constituants atmosphériques de planètes rocheuses tempérées afin d'identifier de possibles biosignatures.

En avril, l'université britannique de Cambridge a annoncé la découverte des « indices les plus solides à ce jour d'une activité biologique en dehors du Système solaire », sur l'exoplanète K2-18b, à 120 années-lumière de nous. Quelle est l'importance de ces résultats ?
Ce communiqué a eu un écho médiatique considérable, ce qui est tout à fait regrettable car ces résultats sont trompeurs à bien des égards. Ils résultent d'un manque flagrant de rigueur scientifique, mais reflètent aussi nombre de problématiques et d'idées erronées liées à la recherche de signes de vie sur les exoplanètes. Découverte en 2015, K2-18b est certes digne d'intérêt. En 2019, le télescope Hubble a détecté la signature d'un composé considéré alors comme de la vapeur d'eau, mais des analyses ultérieures suggéreront qu'il s'agit en réalité de méthane. Son atmosphère semble par ailleurs dominée par du dihydrogène. Au vu de l'intérêt de cette exoplanète, l'observatoire spatial James-Webb a été mobilisé dès la deuxième année de son exploitation, en 2023, pour l'examiner plus avant.

Qu'a-t-il découvert ?
Dirigée par l'astronome Nikku Madhusudhan de l'université de Cambridge (Royaume-Uni), l'équipe qui a analysé les résultats a confirmé la présence de méthane. Elle soutient aussi, en se fondant sur une chaîne de suppositions très fragiles, que K2-18b serait couverte d'eau liquide. Mais l'annonce la plus spectaculaire, formulée dès 2023 et cette année avec plus de force, concerne la détection de sulfure de diméthyle. Un signe probable d'activité biologique, soutiennent les chercheurs de Cambridge, car sur Terre cette molécule est issue de la dégradation du plancton. Tous les ingrédients étaient réunis pour un cocktail Molotov médiatique.

Comment ce composé aurait-il été identifié ?
Lorsqu'une exoplanète passe devant son étoile sur la ligne de visée, son atmosphère — si elle en possède une — filtre une partie de la lumière stellaire. En comparant les spectres avant et pendant un transit, on extrait ainsi certaines informations sur les atmosphères d'exoplanètes, celles qui sont très chaudes et dont les limbes sont très étendus notamment. C'est de cette manière que les premières molécules — de vapeur d'eau — ont été détectées dans les années 2000 par Hubble sur un « Jupiter chaud » : une planète géante à plus de 1000 °C très proche de son étoile, à 150 années-lumière de nous. Depuis 2022, le James-Webb a ouvert de nouvelles perspectives. Grâce à sa grande sensibilité et sa gamme spectrale allant de la lumière visible au moyen infrarouge, il peut sonder des planètes un peu plus petites et moins chaudes ayant une orbite moins rapprochée. Et étendre aussi les molécules détectables. Les différences entre les signaux issus des étoiles et de leurs planètes restent néanmoins infimes. Et les spectres d'absorption souvent très difficiles à interpréter, surtout en l'absence d'éléments de contexte. Si la présence de méthane sur K2-18b est bien établie, celle du sulfure de diméthyle apparaît ainsi hautement contestable.

Pour quelle raison ?
Nikku Madhusudhan a exploité en 2023 puis 2025 deux instruments du James-Webb, mais le biais méthodologique est toujours le même : il cherche à démontrer

SEBASTIEN ORTOLA/REA POUR PORTRAIT FRANCK SELSIS

BIO EXPRESS

- **2000 :** Doctorat sur les modèles d'évolution des atmosphères des planètes rocheuses.
- **2007 :** Première détection d'une molécule (de vapeur d'eau) dans l'atmosphère d'une exoplanète, à laquelle il participe.
- **2017 :** Contribue à la découverte du système planétaire Trappist-1, qui possède au moins sept planètes telluriques.
- **2021 :** Cofondateur et directeur scientifique du festival Hypermondes, consacré aux mondes de l'imaginaire.

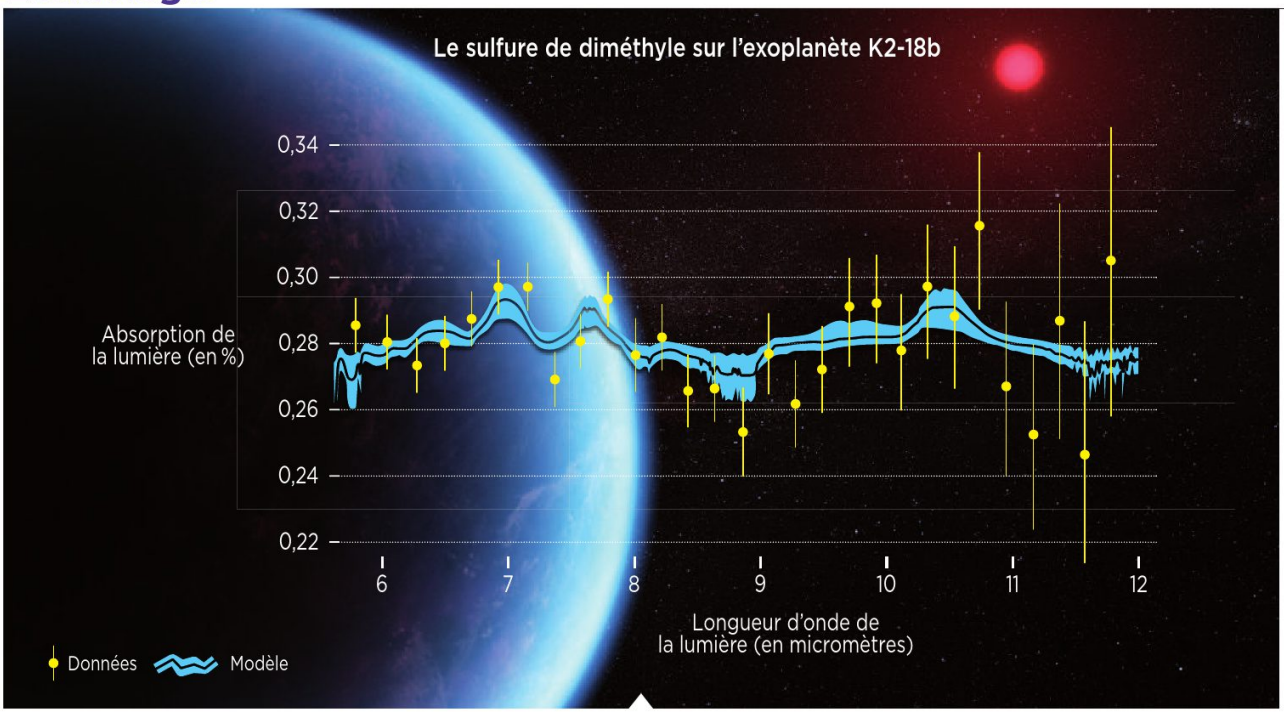
a priori la présence de sulfure de diméthyle sans envisager d'autres substances plus attendues ! La signature spectrale de cette molécule n'est, de fait, absolument pas avérée. Et quand bien même, cela ne constituerait pas le début de commencement d'une preuve de vie ! Car si sur Terre le sulfure de diméthyle provient d'une activité biologique, il a été détecté dans des milieux extraterrestres — telle la comète « Tchouri » — où la vie paraît impossible. Des processus non biologiques pourraient le produire ainsi dans l'atmosphère de K2-18b, dont on connaît si peu de choses. Pour la majorité des spécialistes, cette exoplanète serait de toute façon inhabitable. Car l'enveloppe de dihydrogène doit générer un effet de serre considérable qui semble incompatible avec l'existence d'eau liquide en surface, si ce n'est de la vie.

Quels enseignements tirez-vous de cet épisode ?

L'histoire de l'astronomie regorge de travaux annonçant la découverte de traces de vie extraterrestre — sur Mars, Vénus ou dans des météorites —, tous démentis par la suite. Avec K2-18b, c'est la première fois qu'une exoplanète est concernée. Cela traduit, d'une certaine manière, les avancées spectaculaires dans la détection et l'étude des exoplanètes. Mais aussi les limites actuelles de nos moyens d'observation et connaissances sur ces mondes lointains — sans parler de ce que pourraient être des biosignatures ni de la distribution éventuelle de la vie dans notre coin d'Univers. Ce type d'annonces s'ancrent toujours, au demeurant, à la lisière de l'observabilité : lorsqu'un astre intriguant devient plus facilement observable, l'attention se déplace d'ailleurs vers d'autres plus mystérieux. La controverse sur K2-18b et ses premières observations par le James-Webb ressemble ainsi, sous certains aspects, à l'histoire des « canaux martiens ». À la fin du XIX^e^ siècle, alors que les nouveaux télescopes permettaient d'observer Mars avec plus de détails, des astronomes pensèrent distinguer des réseaux de lignes sombres en surface. Ils seront considérés pendant des décennies comme des canaux d'irrigation construits par des êtres intelligents… jusqu'à ce que des instruments plus précis montrent qu'il s'agissait d'illusions d'optique !

Quels obstacles nous éloignent encore d'une découverte ?

Ils sont nombreux. Et concernent les moyens d'observation tout d'abord. Le James-Webb va étendre les connaissances sur les corps de dimensions comprises entre la Terre et les géantes de type Uranus et Neptune. Mais les planètes rocheuses qui seraient à la fois tempérées, de taille terrestre et dans notre voisinage galactique — à moins de 100 années-lumière afin de discerner une variété de molécules — semblent



BRUNO BOURGEOIS - ESA

Ce spectre d'absorption mesuré par le télescope James-Webb prouverait l'existence d'un signe de vie (le sulfure de diméthyle) dans l'atmosphère de l'exoplanète K2-18b, affirment des chercheurs britanniques. La plupart des spécialistes réfutent toutefois cette interprétation.

pour le moment hors d'atteinte. Des tentatives ont été réalisées lors des transits des planètes rocheuses de l'étoile Trappist-1, à 40 années-lumière de la Terre. Mais après 400 heures d'observations du James-Webb, les éventuels signaux atmosphériques sont masqués, hélas, par de trop grands bruits de fond. Les espoirs se portent donc sur d'autres techniques, plus directes, exploitant la lumière émise ou réfléchie par les planètes elles-mêmes. Pour l'heure, seuls des « bébés Jupiter » très chauds et éloignés de leur étoile peuvent être ainsi auscultés. À partir de 2027, grâce à son miroir de 39 mètres de diamètre, l'Extremely Large Telescope en construction au Chili réussira peut-être à sonder des exoplanètes de type terrestre pour quelques systèmes très proches, telle Proxima b située à 4,2 années-lumière. Mais les caractérisations requises pour la recherche de biosignatures nécessiteront dans tous les cas des progrès technologiques considérables et de nouveaux télescopes spatiaux. C'est l'ambition du télescope spatial américain Habitable Worlds Observatory — un projet précurseur prévu pour les années 2040. Parmi ses objectifs officiels : analyser, par imagerie directe, les constituants atmosphériques de 25 planètes rocheuses tempérées de notre voisinage afin d'identifier de possibles biosignatures.

> « La meilleure façon de trouver des biosignatures est à mon sens… de ne pas les chercher »

Que faut-il traquer spécifiquement ?
On pourrait chercher une atmosphère similaire à la Terre, riche en dioxygène. Produit depuis 2,4 milliards d'années par des micro-organismes photosynthétiques, ce gaz a transformé notre planète au point de devenir détectable à très grande distance. La présence simultanée d'oxygène et de méthane serait plus intrigante encore, car ces molécules réagissent entre elles et se détruisent. Des flux importants seraient ainsi nécessaires pour les alimenter, produits peut-être par une activité biologique. Mais pour écarter toutes les explications alternatives, il faudrait analyser l'atmosphère de la planète, les échanges avec l'intérieur de l'astre, les rayonnements de son étoile, etc. Au final, tout ce travail pourrait être vain et très décevant. C'est pourquoi la meilleure façon de trouver des biosignatures est à mon sens… de ne pas les chercher. Puisqu'on ne connaît, pour le moment, aucune biosignature qui s'affranchirait d'une compréhension très fine de la planète hôte, une stratégie moins géocentrique et plus fructueuse consiste, en effet, à accroître nos connaissances sur un nombre de plus en plus important de corps rocheux tempérés. Après en avoir examiné des centaines, on identifierait peut-être une anomalie : une planète, semblable ou non à la Terre, qui apparaîtrait inhabituelle et inexplicable par les connaissances accumulées. Une panoplie d'instruments seraient alors développés pour étudier spécifiquement cet astre et son éventuelle biosphère. Mais il est impossible de dire, à ce jour, si un tel scénario pourrait se concrétiser en 2050, 2100 ou bien au-delà. ■ **Propos recueillis par F. D.**

Gare à l'effet « Waouh ! »

La Nasa veut établir des critères communs pour jauger la robustesse d'un indice de vie extraterrestre et développer des systèmes d'évaluation permettant de classer chaque découverte. Ces nouveaux outils de communication visent à éviter tout dérapage médiatique.

Comment annoncer la découverte d'un indice de vie sur Mars qui serait encore incertain ou ambigu ? Divulguer pareils résultats sans susciter de fausses attentes, déformer les connaissances scientifiques, déclencher un emballement des médias ? Ces questions étaient au cœur d'une conférence organisée l'année dernière par l'Agence spatiale américaine. Plus de 250 personnes y ont participé, parmi lesquelles des astrophysiciens, planétologues et exobiologistes, mais aussi des journalistes et experts en communication. *« C'est le premier colloque que la Nasa consacre à la manière d'annoncer de possibles signes d'activité biologique dans l'Univers »*, explique Jordan Bimm, historien des sciences à l'université de Chicago (États-Unis) et codirecteur du symposium. Alors que les recherches s'intensifient dans le Système solaire et sur des exoplanètes situées à des dizaines d'années-lumière de la Terre, et que des résultats importants sont attendus dans les années 2030 et 2040, plusieurs intervenants ont appelé à développer de nouveaux outils de communication : des protocoles adaptés à la divulgation d'éléments de preuve très subtils, telles des combinaisons particulières de molécules ou des traces de microfossiles. *« Nous devons préparer le public et les médias à des processus de découverte lents, complexes et graduels, à s'armer de patience et s'habituer à l'incertitude »*, avertit Jordan Bimm.

Un événement survenu en 2020 a joué *« un rôle clé dans cette prise de conscience »*, précise-t-il. Une équipe dirigée par l'astronome Jane Greaves, de l'université de Cardiff (Royaume-Uni), fait alors une annonce fracassante. Grâce au télescope James-Clerk-Maxwell installé à Hawaii (États-Unis), elle prétend avoir détecté de la phosphine dans l'atmosphère de Vénus — à 60 km d'altitude, où les températures et pressions, bien plus clémentes qu'en surface, avoisinent 30 °C et 1 bar. Sur Terre, cette molécule, composée d'un atome de phosphore et de trois d'hydrogène, n'est produite que par des bactéries ou des procédés industriels. Mais sur Vénus, aucun processus chimique connu, *« ni dans l'atmosphère, les nuages, la surface et le sous-sol, ni* via *les éclairs, l'activité volcanique ou l'impact de météorites »*, n'explique les observations, affirme Jane Greaves. De quoi imaginer une vie microbienne dans les nuages de Vénus, répètent à l'envi les chercheurs gallois.

JASON SMITH

« Nous devons préparer le public et les médias à des processus de découverte lents, complexes et graduels »

Jordan Bimm, historien des sciences à l'université de Chicago, aux États-Unis

Une annonce retentissante pour un résultat non confirmé

L'équipe avait préparé son coup. Un an auparavant, alors que les mesures du James-Clerk-Maxwell étaient déjà réalisées mais pas encore ébruitées, certains de ses membres avaient publié une étude indiquant que si l'on détectait un jour de la phosphine sur Vénus, ce serait un marqueur très fort de la vie… CQFD ! Par la suite, d'autres chercheurs rappelleront pourtant que cette molécule a été identifiée il y a plus de quarante ans dans l'atmosphère de Jupiter et de Saturne, où une forme de vie peut difficilement être soupçonnée. Surtout, aucune analyse indépendante ne confirmera la présence de ce gaz sur Vénus. Le signal spectroscopique, très faible, a été manifestement confondu avec du dioxyde de soufre, estiment aujourd'hui les experts. Entre-temps, la Nasa a décidé de financer deux missions d'exploration de Vénus — Davinci et Veritas, coûtant chacune 500 millions de dollars — qui

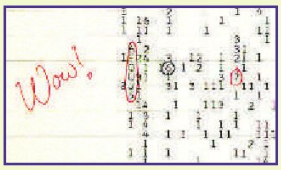
seront lancées vers 2030. L'affaire de la phosphine tombait donc à pic pour influencer ce choix!
« *Cette histoire a marqué les esprits et suscité une série de réponses* », indique Jordan Bimm. Dès l'été 2021, la Nasa mettait sur pied un groupe de travail visant à prévenir et corriger les annonces trompeuses, et garantir aussi la crédibilité des futures communications sur les recherches de biosignatures. « *Si l'on crie au loup trop souvent, le risque est de ne plus être audible et de miner la crédibilité scientifique* », alerte Perig Pitrou, anthropologue au Collège de France. « *Ces dernières années, il y a eu beaucoup de fausses promesses et de bruit médiatique autour de la vie extraterrestre. Beaucoup de personnes pensent ainsi qu'elle a déjà été mise en évidence* », déplore le biochimiste Cyrille Jeancolas, responsable des actions scientifiques interdisciplinaires au CNRS.

Une échelle à 7 niveaux pour caractériser la découverte

Parmi les préconisations du groupe de travail de la Nasa : établir des critères communs pour jauger la robustesse d'un indice de vie et développer des systèmes d'évaluation permettant de classer chaque découverte selon la nature des observations et les éléments qu'il resterait à découvrir. Quelques mois plus tard, le scientifique en chef de l'agence spatiale américaine James Green présentait dans la revue *Nature* le fruit de ces réflexions : une échelle à sept niveaux, baptisée Confidence of Life Detection (Cold), caractérisant « *l'état d'avancement d'une enquête scientifique sur une biosignature potentielle* ». Première étape : la détection d'un signal, telle une molécule inhabituelle dans une roche martienne, qui pourrait être liée à la vie mais explicable par des mécanismes géochimiques. Deuxième : vérifier que l'observation ne résulte pas d'une contamination terrestre, issue d'un rover martien par exemple. Troisième : montrer que l'environnement où la découverte a été faite est propice à la vie, tel un lac asséché sur la planète Rouge. Quatrième : écarter tous les processus non biologiques connus qui

FAUSSES ALERTES

Les candidats à la vie extraterrestre recalés par les études



Signal « Wow ! »

C'est par cette exclamation que l'Américain Jerry Ehman exprime sa surprise lorsqu'il découvre, en 1977, un signal radio d'une intensité 30 fois supérieure au bruit de fond de l'Univers, en provenance de la constellation du Sagittaire. La fréquence de 1420 MHz est par ailleurs très proche de celle attendue pour un message extraterrestre. Aucun autre signal de ce type ne sera pourtant détecté. Selon des études récentes, il proviendrait d'un nuage interstellaire d'hydrogène.

Météorite ALH 84001

En 1996, le président américain Bill Clinton annonce que la météorite ALH 84001 pourrait contenir les preuves d'une vie martienne fossilisée : des globules riches en carbonates et minéraux, mais surtout de minuscules structures filamenteuses et tubulaires, que des chercheurs de la Nasa attribuent à des micro-organismes. Des années d'études seront nécessaires pour prouver, de manière formelle, que des processus chimiques ont façonné ces morphologies.

Étoile de Tabby

L'Américaine Tabetha Boyajian découvre en 2015 qu'une étoile située à 1500 années-lumière de la Terre présente des baisses de luminosité importantes (22 %) et imprévisibles, échappant aux explications habituelles. Comme si cette étoile était entourée d'une mégastructure artificielle visant à absorber son énergie, avancent plusieurs astronomes. Des analyses ultérieures montreront que les clignotements de l'étoile ont été produits par les débris d'un astre voisin, récemment détruit.

Oumuamua

Détecté en 2017, ce corps de 150 m de diamètre issu d'une autre étoile que la nôtre est le premier objet interstellaire connu. Sa forme de galette, ses accélérations et l'absence de queue cométaire intriguent les scientifiques. Pour Avi Loeb, de l'université Harvard (États-Unis), il pourrait s'agir d'un vaisseau extraterrestre. La plupart des chercheurs rejettent cette hypothèse, estimant qu'Oumuamua est une comète éteinte ayant perdu la quasi-totalité de ses éléments volatils.

pourraient produire le même signal. Cinquième : détecter des indices additionnels et convergents d'activité biologique dans le milieu concerné, tels des constituants cellulaires. Sixième : des équipes indépendantes parviennent aux mêmes conclusions par d'autres méthodes, grâce au retour d'échantillons martiens en particulier. Enfin, l'ultime jalon : d'autres biosignatures prédites sur la base des résultats précédents sont identifiées, dans une autre région de Mars notamment.

Ce cadre présente plusieurs avantages, insiste James Green. Il permet à un public non spécialisé d'estimer *« rapidement l'importance d'un nouveau résultat »*, mais aussi de situer *« l'état des connaissances sur une cible d'exploration donnée »*, d'apprécier *« les capacités et limites d'un instrument de mesure »* ou de *« formuler de nouveaux objectifs scientifiques »*, pose le chercheur. *« Je souscris tout à fait à ce type d'approche »*, acquiesce Perig Pitrou. Si l'on reste focalisé, dans les recherches de vie extraterrestre, sur une réponse uniquement positive ou négative, on présente une image très réductrice de la science, développe le chercheur : *« Cela donne l'impression qu'on n'aurait réalisé aucun objectif tant que ce résultat ne sera pas atteint. Et l'on produit finalement une forme de scepticisme voire de défiance par rapport à la science. »* Dans leur registre, les niveaux de vérification de l'échelle Cold exposent finalement ce qu'est la démarche scientifique, ajoute Perig Pitrou. *« Et la question, bien plus riche me semble-t-il, sera alors moins de savoir si l'on a découvert ou non une vie extraterrestre, mais quels moyens l'humanité met en œuvre pour avancer dans la compréhension d'autres mondes planétaires et de ce qu'est la vie. »*

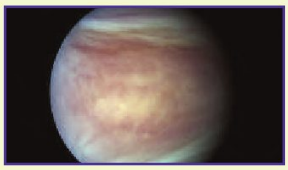
PYSSEN

> « Si l'on crie au loup trop souvent, le risque est de ne plus être audible et de miner la crédibilité scientifique »
> **Perig Pitrou,** anthropologue au Collège de France

Obtenir le plus fort taux de consensus chez les experts

Si l'échelle Cold a trouvé un écho positif et fait partie des ressources que la Nasa compte utiliser pour ses futures missions d'exploration, elle possède aussi ses faiblesses. Ce barème est de fait très schématisé et linéaire, alors que les recherches procèdent souvent par sauts, bifurcations, retours en arrière, etc. *« D'autres barèmes, plus ou moins dans le même esprit, ont été proposés ces dernières années »*, observe Cyrille Jeancolas. En 2023, en collaboration avec des chercheurs britanniques et américains, il a contribué lui-même à un autre dispositif. Leur constat de départ : le quatrième niveau de l'échelle Cold, qui exclut *« tous les processus non biologiques connus »*, est éminemment problématique. *« Il dépend de l'état des connaissances à un moment donné,* pointe Cyrille Jeancolas. *Sans compter qu'on ne sera jamais certain, par définition, d'avoir exploré toutes les explications non biologiques possibles à un phénomène. »*

Le mieux que l'on puisse faire, estime-t-il, serait de mesurer le niveau de consensus auprès d'un groupe pluridisciplinaire de spécialistes (biologistes, chimistes, physiciens…), garants de l'état de l'art. Leur protocole est donc fondé, non seulement sur la robustesse et l'accumulation d'arguments en faveur d'une vie extraterrestre (selon trois paliers : faible, moyen et fort), mais aussi sur le degré d'accord qu'ils suscitent au sein d'un panel d'experts — là aussi selon trois niveaux, soit neuf scores possibles en tout. Ainsi, la plus convaincante des découvertes serait celle qui combinerait des preuves nombreuses, solides et éliminant un maximum d'explications alternatives avec un fort taux de consensus. C'est de cette manière que le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) procède depuis plus de trente ans pour évaluer une foule d'informations et produire ses rapports successifs. *« Cet outil n'est certes pas la panacée, mais il a passé l'épreuve du temps face à des examens extraordinairement minutieux et des enjeux aussi élevés que possible »*, conclut Cyrille Jeancolas. ■ **F. D.**


BIGEAR RADIO OBSERVATORY/NAAPO - ESO - NASA/WIKIPEDIA - ASA/JPL CALTECH/ESO JAXA/AKATSUKI/ PLANET C PROJECT TEAM/ J. MAJOR

Phosphine

▸ L'annonce avait fait grand bruit en 2020 : Vénus, notre plus proche voisine, contient de la phosphine dans son épaisse couverture nuageuse — une molécule qui pourrait être produite par des micro-organismes. Sur Terre, elle n'est synthétisée en effet que par des bactéries anaérobies. Mais cette détection ne sera confirmée par aucune étude indépendante. En lieu et place d'un signe de vie, le gaz observé serait en réalité du dioxyde de soufre.

GRAPHOLOGIE Étude, à la scientificité contestée, des caractéristiques graphiques d'un texte manuscrit (taille, forme, inclinaison des lettres) pour en tirer un profil psychologique de l'auteur.

GRAPHOMÉTRIE Procédé similaire à la graphologie mais ayant pour but de comparer un document manuscrit à un autre, l'attribuer ou non à un auteur, en évaluer l'authenticité.

STYLOMÉTRIE Analyse statistique d'un texte écrit (à la main ou non) à partir de marqueurs relatifs à la syntaxe, à des séquences de caractères, à des mots outils, indépendamment du sens.

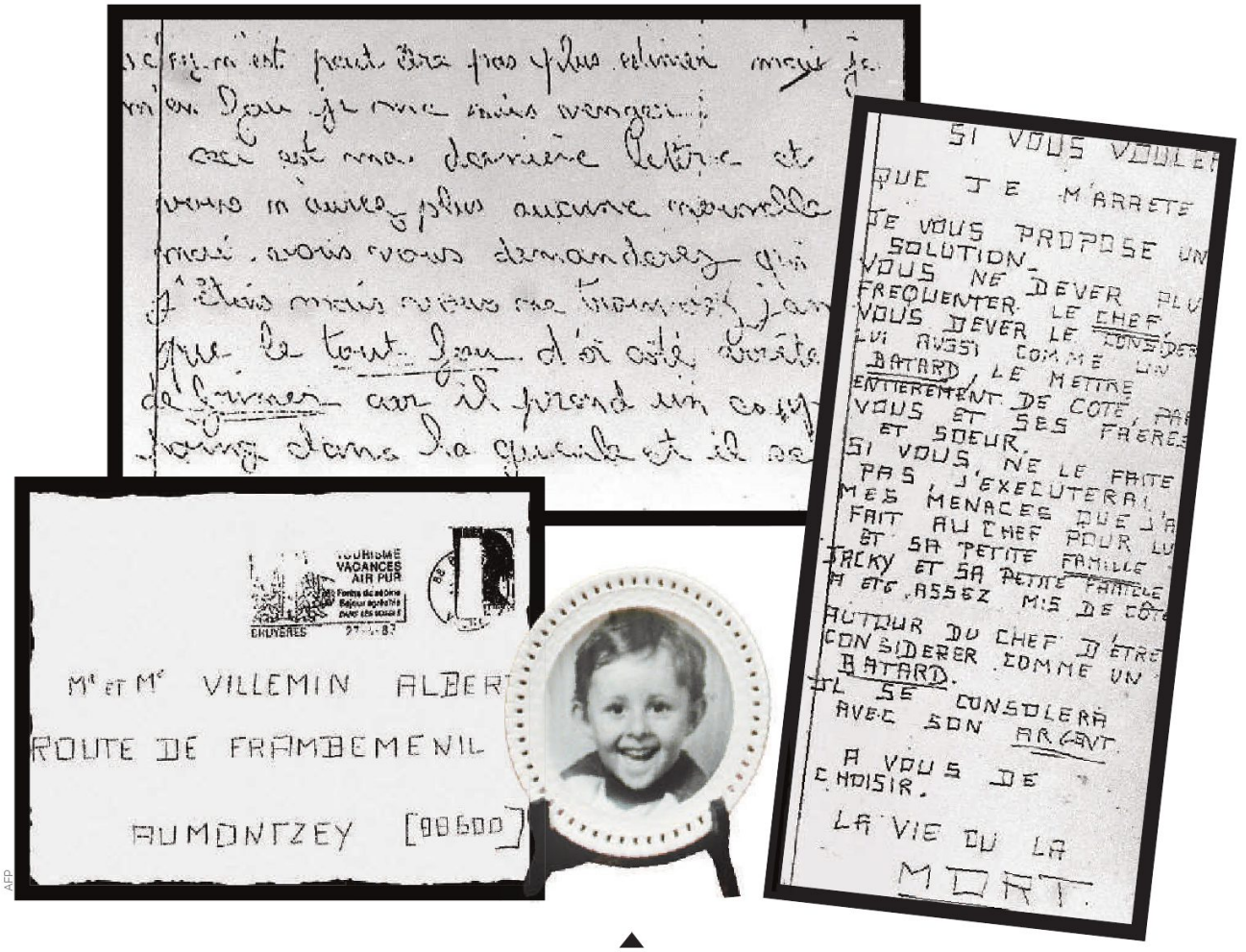
La stylométrie envoie les tics d'écriture au tribunal

Cette technique d'analyse approfondie des écrits d'une personne a permis de confondre le terroriste américain Ted Kaczynski, alias Unabomber, en 1996. Aujourd'hui, c'est l'affaire Grégory qui pourrait connaître un nouveau rebondissement grâce à l'expertise de dizaines de textes liés à cette affaire criminelle. Explications.

Depuis octobre 1984, le moindre rebondissement dans l'enquête sur le meurtre du petit Grégory Villemin a le don de déchaîner les passions. La convocation par la cour d'appel de Dijon de la grand-tante de la victime, Jacqueline Jacob, déjà entendue en 2017, n'y échappe pas. D'autant que l'audition, prévue pour le 24 octobre, repose sur un rapport d'expertise de près de 180 pages en stylométrie, discipline encore mal connue du grand public.

Commandé en 2020 à la start-up suisse OrphAnalytics, ce travail a consisté à extraire une signature stylistique des lettres anonymes envoyées par le « corbeau » à la famille Villemin pour la comparer à celle d'autres documents rédigés par des protagonistes de l'affaire. Il ne s'agit pas de style au sens littéraire, établi sur la complexité des phrases ou la richesse du vocabulaire, mais d'une analyse statistique d'éléments non porteurs de sens. Selon les approches, les experts vont s'intéresser aux mots outils (pronoms, prépositions, articles définis ou indéfinis, conjonctions de coordination, etc.), à la longueur des mots, aux suffixes, aux désinences verbales ou encore à des modules d'un certain nombre de lettres, les N-grammes (par exemple, le mot « chat » peut se décomposer en bigrammes : ch-ha-at ; ou trigrammes : cha-hat). La ponctuation, les espaces, les capitales ou les minuscules, les accents, peuvent aussi servir. On relève la récurrence de ces éléments et leur répartition dans le texte, ce qui définit la signature stylométrique.

Ces méthodes reposent sur le fait qu'un auteur ne maîtrise pas ses propres particularismes. *« Une personne se forme à l'écriture, acquiert des manières d'exprimer ses idées, réutilise des choses d'un texte à l'autre, de façon presque inconsciente,* explique Claude-Alain Roten, fondateur de OrphAnalytics. *C'est une question de gestion de son temps, de son énergie, et de stratégie pour écrire de la façon la plus efficace possible.* » Les spécialistes font souvent l'analogie avec les empreintes digitales et la biométrie. Le fondateur d'OrphAnalytics est



AFP

Dans l'affaire Grégory, du nom du petit enfant enlevé et assassiné en France en 1984 sans que le ou les auteurs aient été identifiés, l'analyse stylométrique sur 35 textes a récemment permis de distinguer un seul auteur des lettres anonymes du « corbeau ».

lui-même un ancien microbiologiste. « *J'utilise mes algorithmes de génomique dans le monde de la linguistique,* note-t-il. *Je n'ai pas changé de métier, c'est l'objet analysé qui a changé de nature.* » Le terme de « stylome » est d'ailleurs parfois préféré à « style », source de confusion. Claude-Alain Roten parle même de « stylome-métrie ».

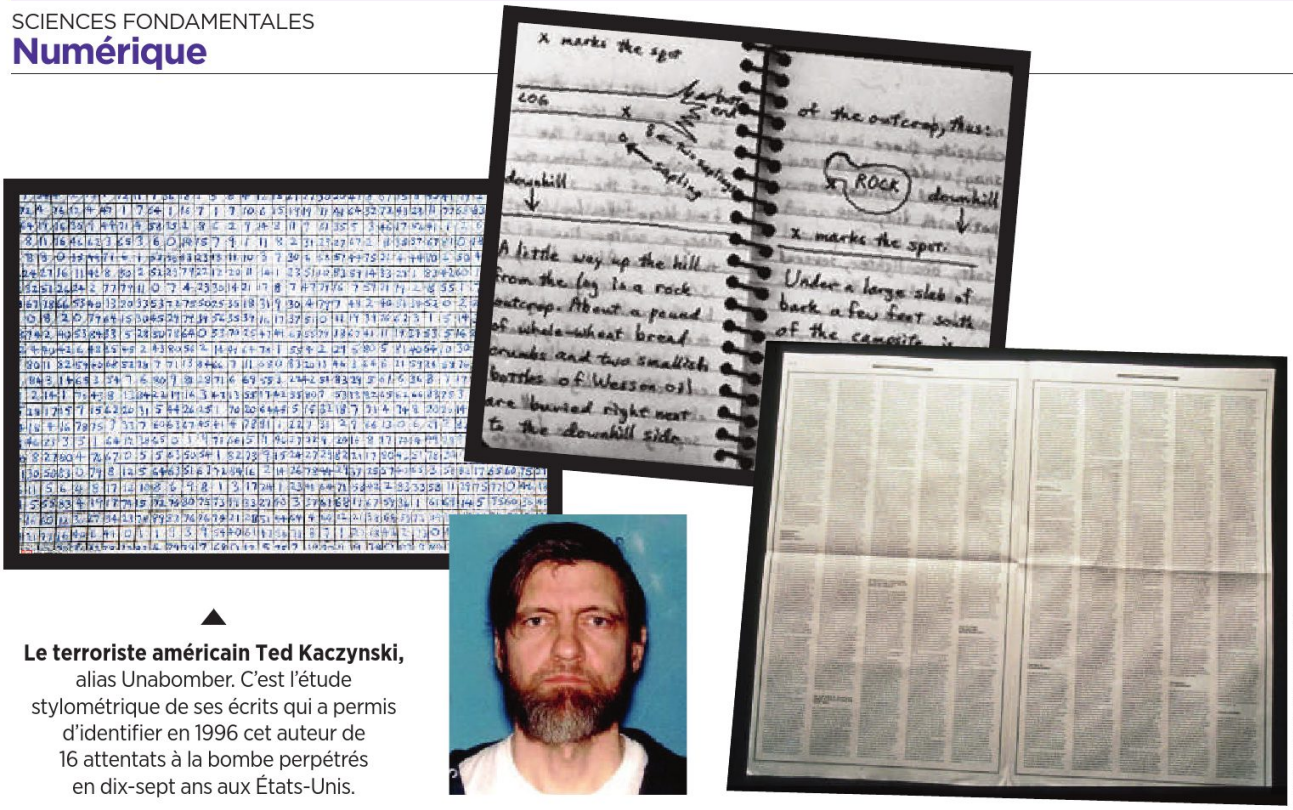
Dans l'affaire Grégory, 35 textes (pas uniquement les lettres du corbeau) ont été expertisés, révélant que le style d'un protagoniste correspond à celui des quatre lettres anonymes reçues par la famille Villemin. Les autres styles sont ceux d'autres « candidats », c'est-à-dire des personnes dont on veut confronter la signature stylométrique à celle du corbeau.

P. KRAUER

« Une personne acquiert des manières d'exprimer ses idées et les réutilise d'un texte à l'autre de façon presque inconsciente »

Claude-Alain Roten, fondateur de OrphAnalytics

Mais prudence : le résultat ne va pas forcément désigner un coupable, car il doit être évalué par le tribunal. « *On peut avancer des noms à partir d'un groupe de suspects particuliers et parce que cela s'insère dans un faisceau d'indices, un contexte,* prévient Florian Cafiero, enseignant-chercheur en intelligence artificielle pour les sciences humaines et sociales à l'École des chartes. *Mais si on dispose uniquement d'une signature "auteuriale" ressemblant à celle de quelques lignes de courriers anonymes, cela ne suffit pas pour envoyer quelqu'un en prison.* »
Qualifiée à tort de « *novatrice* » ou de « *spécialité suisse* », sans rapport avec la graphologie ou la graphométrie (cette dernière a déjà servi aux enquêteurs de



Le terroriste américain Ted Kaczynski, alias Unabomber. C'est l'étude stylométrique de ses écrits qui a permis d'identifier en 1996 cet auteur de 16 attentats à la bombe perpétrés en dix-sept ans aux États-Unis.

GAMMA-RAPHO; SIPA; GETTY IMAGES

l'affaire Grégory en 2017), voire confondue avec la stylographie (le fait d'écrire au stylo !), cette discipline est d'abord un outil de philologues remontant à la fin du XIXe siècle. En matière judiciaire, c'est son rôle dans l'identification et l'arrestation du terroriste américain Ted Kaczynski alias Unabomber, en 1996, qui a mis la stylométrie à l'honneur.

Percer les secrets du pseudonymat ou de l'anonymat n'est pas la seule vocation. Ces techniques peuvent révéler le recours à un prête-plume par un auteur officiel, détecter du plagiat voire un usage de ChatGPT (*lire l'encadré ci-contre*). En 2019, Florian Cafiero et son collègue Jean-Baptiste Camps ont eu recours à la stylométrie pour établir que Corneille n'avait pas écrit les pièces de Molière. *« Cela entrait aussi dans un contexte dans lequel aucun historien sérieux n'a jamais trouvé d'indice suggérant le contraire ; en revanche, la quantité et la teneur des textes utilisés pour l'analyse, avec des pièces en cinq actes, ont donné une force statistique à notre résultat montrant une distance immense entre les deux signatures. »* En 2023, OrphAnalytics a travaillé sur deux courriers anonymes de menaces envoyées à deux élus de Suisse Romande. *« Il n'y avait aucun suspect, l'enjeu était surtout de savoir si une seule personne ou plusieurs les avaient rédigés, car les menaces d'agression d'un solitaire n'ont pas le même poids que celles d'un groupe déterminé »*, souligne Claude-Alain Roten. L'analyse dégagera une seule signature stylométrique et établira, en outre, que l'auteur n'a écrit aucun des autres courriers reçus par des journalistes et trois personnalités politiques.

Une prédiction à 100 % du trouble TDAH

Plus atypique, dans un article de 2023, des chercheurs en psychologie de l'université de Genève (Suisse) ont recouru à la stylométrie pour prédire un trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). Ils ont fait écrire à des adolescents diagnostiqués des textes de 1000 à 2000 mots relatant des souvenirs définissant le soi. Ils en ont extrait les mots outils et les trigrammes pour bâtir un modèle stylométrique et l'ont testé sur des textes similaires d'autres adolescents mais dont le statut médical était masqué. Résultat : une prédiction avec 85 à 92 % de précision si la personne souffre de TDAH ou non. En affinant la méthode, l'équipe a atteint les 100 % l'année d'après. Le but n'est pas de remplacer un vrai examen,

HISTOIRE

La stylométrie remet de l'ordre dans les écrits de Platon

Les principes de la stylométrie (et le terme lui-même) sont posés en 1890 dans un ouvrage du philosophe polonais Wincenty Lutosławski. Avec cette méthode, ce dernier établit en 1897 une ébauche de chronologie des écrits de Platon en fonction de l'évolution du style du penseur grec. En 1964, deux statisticiens de l'université Harvard (États-Unis), David Wallace et Frederick Mosteller, font un usage pionnier de l'informatique sur les Federalist Papers, une série d'essais constitutionnels américains de 1788 signés Publius. Chacun des 85 textes a pu être attribué à James Madison, Alexander Hamilton ou John Jay.

mais de proposer une première étape moins lourde qu'une consultation traditionnelle, pour savoir qui diagnostiquer ensuite en priorité.
À l'origine, les experts comptaient littéralement les variables retenues pour l'analyse. Depuis les années 1960, l'informatique autorise le traitement de corpus plus vastes et le calcul de distance entre variables, fournissant une représentation spatiale de l'écart entre différentes signatures. Jusqu'aux technologies d'apprentissage automatique, par lesquelles un algorithme apprend le style d'un auteur et en fait un modèle. *« Que les textes soient longs ou courts n'est pas important,* ajoute Claude-Alain Roten. *On constitue d'abord un corpus d'entraînement dont on connaît les auteurs. En prenant mots, trigrammes, espaces entre les mots, il y a ainsi assez d'informations pour déterminer si un style de référence correspond à celui d'un texte questionné. Dans certains cas criminels, le style d'un texte anonyme de 50 caractères peut être associé avec une excellente probabilité à celui d'un mis en cause.»*

La qualité de la base d'entraînement est cruciale

« On pourrait travailler sur des SMS, confirme l'historienne Marie Puren, coauteure en 2022 d'une étude sur Colette. *L'apprentissage automatique peut se nourrir de données moindres et donner de bons indices.* » La qualité du jeu d'entraînement reste toutefois cruciale : il faut des textes relevant du même genre (posts de blogs ou de réseaux sociaux, romans, articles mais pas tout en même temps), sur des sujets variés, et tenir compte du fait que la signature stylométrique d'une personne évolue avec le temps.
La comparaison doit, elle aussi, porter sur des textes du même genre. D'où le problème de Marie Puren quand elle a voulu vérifier si la série des *Claudine*, de Colette, était marquée par le style de son mari Henry Gauthier-Villars, dit Willy, qui dirigeait un atelier d'écriture. Si celui-ci n'a écrit aucun roman, en revanche, il intervenait dans les productions de ses auteurs en herbe (dont Colette). *« L'idée a donc été de voir s'il n'y a pas un "effet Willy" dans ces textes,* raconte la chercheuse. *Nous avons entraîné un algorithme sur ceux dont on sait, parce qu'on a les sources, qu'ils ont été écrits avec lui et on a confronté la signature obtenue à celles de textes des mêmes auteurs écrits sans Willy, en dehors de l'atelier.* » La distance entre les deux constitue cet « effet Willy ». Quatre *Claudine* ont ensuite été découpés en tronçons de 1000 mots et chacun a été analysé. Bilan : selon les romans, 37 % à 45 % du texte trahissent l'« effet Willy ». Mais l'étude montre aussi que, s'il s'estompe au fil du temps, il perdure dans les écrits de Colette une fois celle-ci devenue autonome. *« Elle a littéralement appris à écrire avec lui,* explique Marie Puren. *Et Colette, même si elle détestait son mari, a emporté dans sa manière d'écrire l'histoire qu'elle a eue avec lui.* » Pour paraphraser une formule bien connue : montre-moi comment tu écris, je te dirai qui tu es. ■

Arnaud Devillard

EPITA

« On pourrait travailler sur des SMS. L'apprentissage automatique peut se nourrir de données moindres et donner de bons indices »

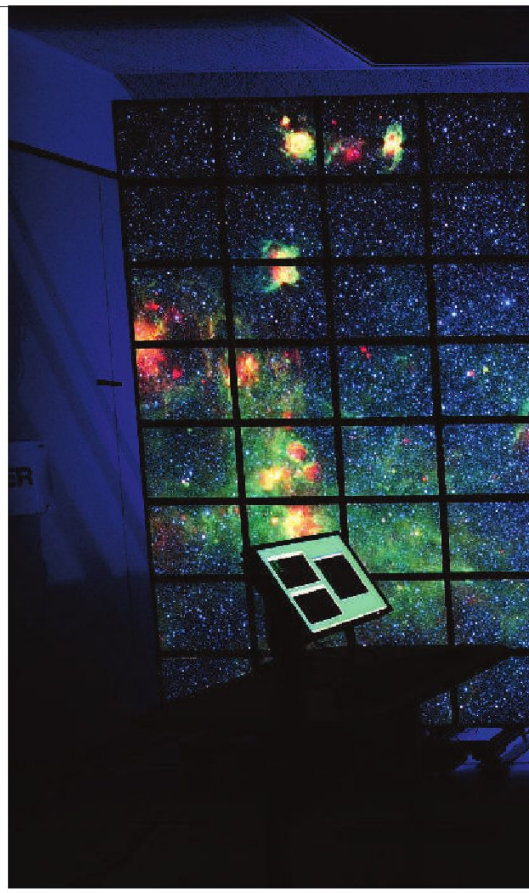
Marie Puren, enseignante-chercheuse en histoire et humanités numériques

GRANDS MODÈLES DE LANGAGE

ChatGPT trahi par son style

Demandez à ChatGPT un récit de voyage à la manière de Shakespeare et il le fera. Mais reproduira-t-il les caractéristiques stylométriques du dramaturge anglais ? *« Il puisera dans ses thèmes privilégiés, dans ses pièces les plus célèbres mais ce ne sont pas des conditions linguistiques,* prévient Florian Cafiero, enseignant-chercheur à l'École des chartes. *ChatGPT aurait besoin de savoir qu'il faut tant de "and", de "though", ou de verbes conjugués après telle préposition, or cela ne figure pas dans ses données d'entraînement.* » Les grands modèles de langage (LLM) gardent des manières bien à eux de générer des contenus, liées à leur processus d'entraînement et d'ajustement.
Deux études, d'une équipe de l'université de Lausanne (Suisse) et d'OrphAnalytics, en 2023, et de chercheurs américains, en 2024, ont montré que l'analyse statistique de N-grammes révèle un manque d'originalité dans les contenus issus de LLM, avec plus de redondances que chez les humains. La première équipe y voit une piste pour débusquer la fraude académique. Pas si simple, selon Florian Cafiero : *« Cet usage de la stylométrie ne permet pas de distinguer l'étudiant qui n'a suivi aucun cours et a utilisé ChatGPT pour générer quelque chose de valable, de celui qui a bien travaillé mais a demandé des corrections en anglais à ChatGPT.* » Pour cela, le jugement humain reste central.

Comment rendre l'astronomie moins polluante



C'est un des domaines de recherche les plus émetteurs de gaz à effet de serre. Des solutions sont à l'étude : mutualisation accentuée des outils d'observation, automatisation des télescopes pour limiter les déplacements des chercheurs…

Étudier le ciel étoilé peut sembler une activité bien peu polluante. Pourtant, avec en moyenne 56 tonnes d'équivalent CO_2 ($teqCO_2$) par an et par astronome en France, l'astronomie fait partie des domaines de recherche les plus émetteurs de gaz à effet de serre, selon le rapport de synthèse de la prospective astronomie-astrophysique 2025-2030 de l'Institut national des sciences de l'Univers (Insu). Rappelons qu'un Français émet, en moyenne, 10 $teqCO_2$ par an et que, selon les objectifs de la loi européenne sur le climat, pour atteindre une neutralité carbone, les émissions devront se limiter à 2 tonnes par an et par personne en 2050. Un astronome, c'est près de 30 fois plus !

Face à ce constat, certains chercheurs s'interrogent. Héloïse Méheut, astrophysicienne au CNRS sur le site de l'observatoire de la Côte-d'Azur et spécialiste de la formation des planètes, a réorienté sa recherche en limitant l'usage des supercalculateurs. Ceux-ci servent à recréer des formations planétaires, l'intérieur d'une étoile ou des interactions entre galaxies. Si elle ne peut s'en passer, elle fait appel à ceux situés dans des pays dont l'électricité a une faible empreinte carbone.

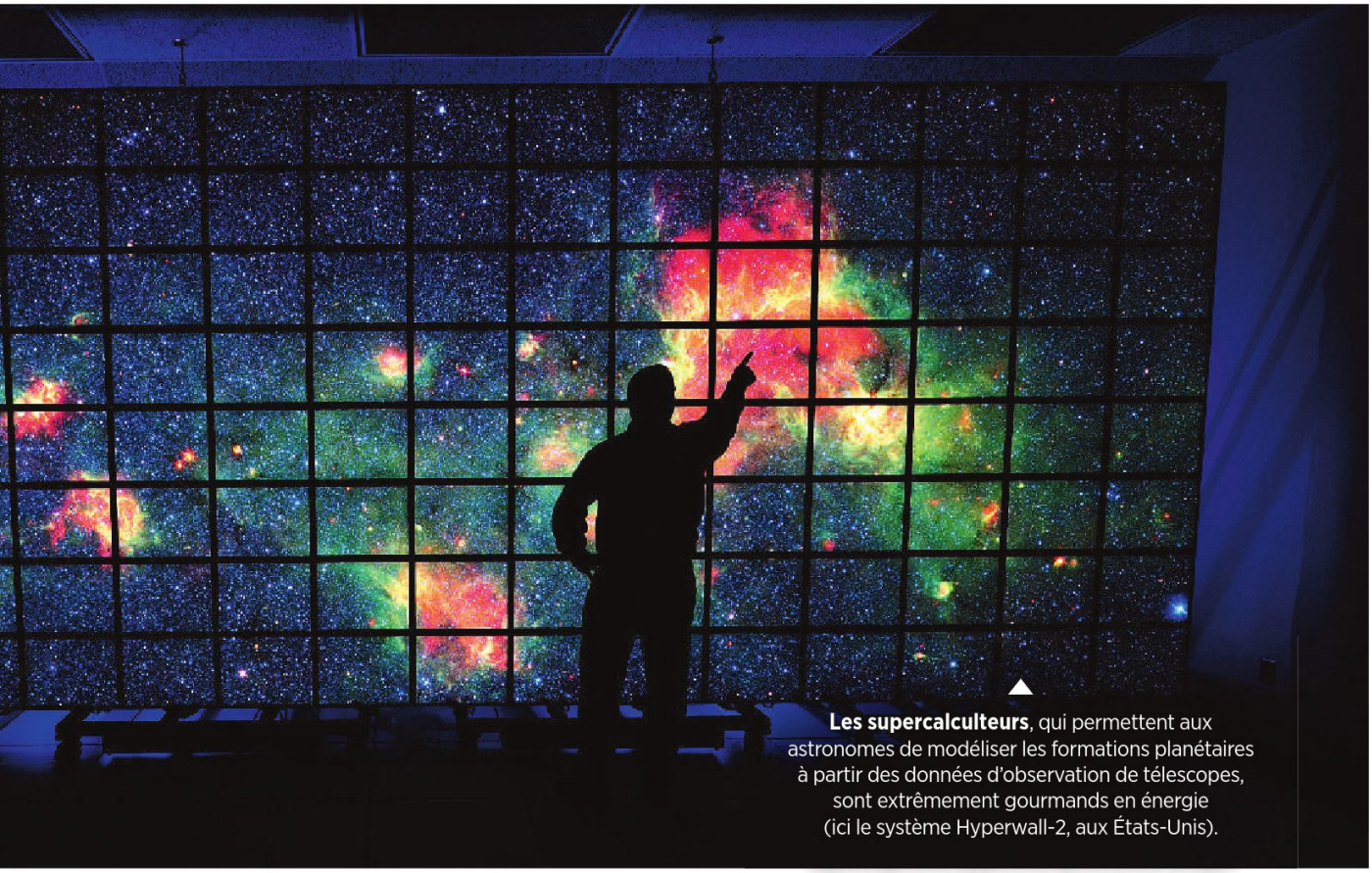
« *Pourquoi ne pas réduire le nombre de grandes simulations cosmologiques, en renforçant la coopération* », suggère de son côté l'astronome Leonard Burtscher, cofondateur d'Astronomers for Planet Earth, un collectif créé en 2019 qui informe et agit en faveur de la transition climatique.

Mais ce sont avant tout les observatoires, télescopes et autres sondes qui constituent la source majeure d'émissions de gaz à effet de serre, avec 39,7 $teqCO_2$ par an et par astronome, selon une étude de chercheurs de l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (Irap) publiée en 2024 dans *Nature Astronomy*. L'Observatoire européen austral (ESO), la première organisation astronomique intergouvernementale européenne, s'est attelé à la décarbonation de son fonctionnement dès 2018. « *Des centrales solaires photovoltaïques ont été installées à La Silla et à Paranal (Chili), couvrant la totalité des besoins en électricité le jour. Le réseau électrique chilien est devenu moins émetteur. Et nous avons fait de grands efforts d'électrification de la flotte de véhicules et des systèmes de chauffage* », détaille son responsable du développement durable Claudio Melo. Ainsi, l'ESO a divisé par deux ses émissions de CO_2 liées à l'énergie, qui représentaient 41 % de son empreinte carbone totale de 28 000 $teqCO_2$ en 2018.

56 tonnes d'équivalent CO_2 sont émises par un astronome chaque année en France

contre

10 tonnes d'équivalent CO_2 par habitant en moyenne



Les supercalculteurs, qui permettent aux astronomes de modéliser les formations planétaires à partir des données d'observation de télescopes, sont extrêmement gourmands en énergie (ici le système Hyperwall-2, aux États-Unis).

JOE MCNALLY/GETTY IMAGES

Mais une grande partie des émissions a lieu lors de la construction des instruments. *« Produire du béton et de l'acier sans libérer du CO_2 est difficile »*, rappelle Leonard Burtscher. Une solution pour les futures infrastructures *« consisterait à arrêter la croissance du nombre d'infrastructures en activité en le maintenant aux niveaux actuels. […] Celles existantes seront remplacées à la fin de leur durée de vie par d'autres de masse ou de coût équivalents »*, selon l'étude publiée en 2024 dans *Nature Astronomy*.

Mais le sujet est sensible, prévient Alexandre Santerne, astronome adjoint au Laboratoire d'astrophysique de Marseille (LAM) et membre du groupe de travail sur la transition carbone pour la prospective astronomie-astrophysique 2025-2030 de l'Insu : *« La plupart des chercheurs sont d'accord sur le principe, du moment que cela ne concerne pas leur instrument. Abandonner un instrument signifie devoir trouver un autre sujet de recherche. »* Un tel scénario aurait néanmoins des bénéfices. Astronome adjoint à l'Irap, Frédéric Boone estime ainsi qu'il permettrait de *« sortir de la course aux publications »*, cette urgence de devoir publier vite des résultats.

Limiter le nombre d'infrastructures en activité permettrait aussi de *« maximiser le retour scientifique »* de chacune d'entre elles, fait valoir Mickaël Coriat, astrophysicien à l'Irap qui s'est désengagé du projet du radiotélescope Square Kilometre Array (SKA) alors qu'il avait fait son post-doctorat en Afrique du Sud, l'un des sites de déploiement avec l'Australie. *« Ce n'était plus viable pour moi de participer à ce type de projets. J'essaie de faire de la science avec l'existant, avec des données sous-exploitées par exemple »*, confie-t-il.

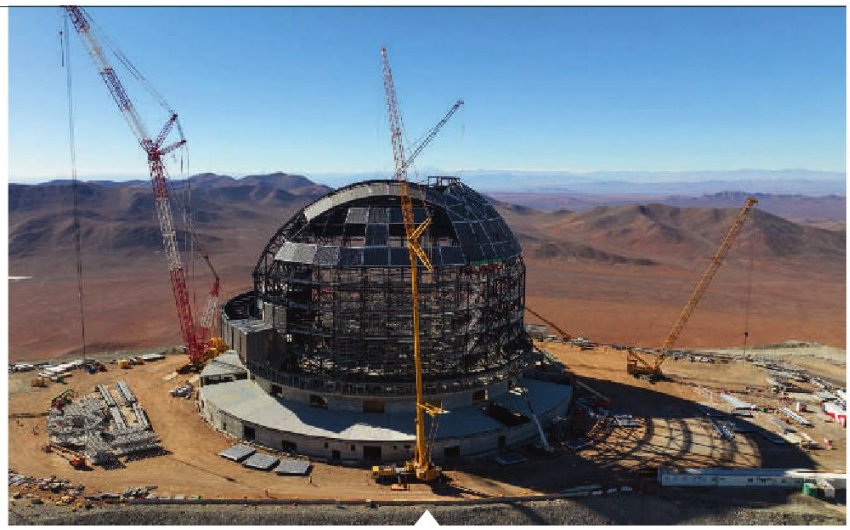
C. MELO

« Des centrales solaires photovoltaïques ont été installées sur les sites de l'ESO à La Silla et Paranal, au Chili »

Claudio Melo, responsable du développement durable à l'Observatoire européen austral (ESO)

Exploiter davantage les données d'archives

Aux États-Unis, les coupes budgétaires des activités de la Nasa et de la Fondation nationale pour la science voulues par Donald Trump — respectivement annoncées à 6 et 5 milliards de dollars — pourraient accélérer ce mouvement, car elles conduiraient *« à une plus forte dépendance à l'égard des données d'archives »*, prédit Travis Rector, astrophysicien à l'université d'Alaska Anchorage


ESO

Une grande partie des émissions de gaz à effet de serre se produit lors de la construction des infrastructures d'observation (ici l'ELT, au Chili).

(États-Unis), en précisant aussi qu'elles impliqueront une réduction du personnel en astronomie.

Par ailleurs, avec les nouveaux observatoires comme Vera-Rubin, capable de détecter 10 millions d'événements transitoires par nuit, *« on n'a pas assez de chercheurs pour analyser le flux de données collectées.* A priori, *on pourrait faire baisser le nombre d'instruments. Mais on va surtout utiliser l'intelligence artificielle pour gérer le flux de données et les chercheurs vont de moins en moins regarder les données eux-mêmes »*, avance Jürgen Knödlseder, astrophysicien à l'Irap et auteur principal de l'étude sur les infrastructures.

Reste enfin la question des déplacements des astronomes. Selon une étude publiée en 2022 dans *Plos Climate*, ils font partie des scientifiques qui prennent le plus l'avion. À l'ESO, les déplacements professionnels représentaient 10 % de l'empreinte carbone en 2018. Or, une partie des télescopes peuvent être pilotés à distance : l'astronome a un temps d'observation programmé à une heure précise et utilise le télescope à distance *via* Internet. Mieux, de nombreux petits télescopes fonctionnent aujourd'hui en mode « robot », de façon presque automatisée : *« Sur la base d'un algorithme, un ordinateur décide des observations à effectuer et les exécute »*, résume Travis Rector.

Autre solution déployée à l'observatoire Gemini : des astronomes sur site font les observations demandées par leurs collègues du monde entier en fonction de l'ordre de priorité, des conditions météorologiques, de la qualité de l'image et de la phase de la Lune. *« La technologie a permis de réduire les émissions tout en étant plus productif sur le plan scientifique »*, assure l'astrophysicien.

Des réunions virtuelles plutôt que des déplacements en avion

Les astronomes prennent aussi souvent l'avion pour participer aux congrès. Les conférences d'astronomie et d'astrophysique en présentiel étaient à l'origine de 42 500 teqCO_2 en 2019, soit une moyenne de 1 teqCO_2 par participant et par conférence, selon une étude publiée en 2024 dans *Pnas Nexus*. *« L'empreinte carbone d'une réunion virtuelle est d'un millième de celle d'une réunion en présentiel, elle est plus accessible pour tous, sans oublier le gain de temps et d'argent »*, pointe Vanessa Moss, responsable des opérations scientifiques au radiotélescope Askap du CSIRO (Australie) et cheffe de file du mouvement The Future of Meetings (TFOM).

Mais la transition vers la visioconférence n'a rien d'une évidence : participer aux congrès est un passage obligé afin *« de faire connaître ses recherches, que d'autres les citent et puissent vous offrir un poste un jour »*, souligne Leonard Burtscher, qui a plus de quinze ans de carrière. Travis Rector juge toutefois que *« le système doit changer, car il tend à récompenser ceux qui voyagent le plus, ceux qui ont la capacité et les ressources pour prendre l'avion et faire des programmes d'observation, présentations ou panels d'experts. »* En France, l'Insu a amorcé ce changement en proposant de *« reconnaître dans le suivi de carrière et le recrutement les activités visant à contribuer à la réduction de l'impact environnemental »* de la recherche.

Mais pour réussir, le changement ne peut être que global. *« Si nous durcissons notre politique alors que d'autres ne le font pas, nos scientifiques risquent d'être désavantagés,* redoute Claudio Melo. *Tout le monde hésite, ne voulant pas être seul. Le risque est que rien ne change. »* Et il est réel. ■ **Chisato Goya**

DÉCARBONATION

Une préoccupation pour toutes les sciences

« La préoccupation de décarboniser la recherche n'est plus une question marginale », affirme Antoine Hardy, sociologue au Centre de sociologie de l'innovation et auteur d'une thèse sur la décarbonation de la recherche publique en France. En revanche, ***« la façon dont on voit la décarbonation diffère selon les disciplines »***, ajoute-t-il. Dans certaines comme la géologie, ne plus prendre la voiture pour se déplacer remet en cause le fait même de faire de la recherche, alors que dans d'autres, il est possible d'en réduire l'usage sans affecter les activités des chercheurs. Le collectif Labos 1point5 a développé un outil gratuit pour calculer l'empreinte carbone et établir le bilan gaz à effet de serre réglementaire d'un laboratoire. À ce jour, plus de 1600 laboratoires l'ont fait et 79 ont publié près de 300 actions menées pour la réduction durable de leur empreinte environnementale.

Sophia Boutique, la boutique des lecteurs de SCIENCES ET AVENIR vous propose

LA MONTRE CHRONOGRAPHE AVEC DATEUR
Jet Club

59€ seulement

- Mouvement analogique à quartz 5 aiguilles
- Chronographe précis à la seconde près
- Boîtier doré - diamètre 40 mm en alliage de métaux inoxydables
- Bracelet en cuir marron mat avec surpiqures ton sur ton
- Temps intermédiaire/ Remise à zéro du chronographe
- Dateur à 4 H
- Fonctionne avec une pile bouton (fournie)
- Garantie 2 ans

LA MONTRE CHRONOGRAPHE
CIRCUIT

59€ seulement

- Mouvement analogique à quartz 5 aiguilles
- Chronographe précis au 1/10ème de seconde
- Boîtier chrome - diamètre 42 mm en alliage de métaux inoxydables
- Bracelet en cuir lisse fauve surpiqué de coton blanc
- Temps intermédiaire/ Remise à zéro du chronographe
- Dateur à 4 H
- Fonctionne avec une pile bouton (fournie)
- Garantie 2 ans

VUILLEMIN REGNIER

VR

BON DE COMMANDE

À compléter et à renvoyer avec votre règlement sous enveloppe affranchie à :
SOPHIA BOUTIQUE
45, avenue du Général Leclerc
60643 Chantilly Cedex

ADRESSE DE LIVRAISON

☐ M. ☐ Mme

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code Postal

Ville :

Téléphone

E-mail : @

Pour la bonne gestion de votre commande, merci d'indiquer votre email

☐ J'accepte de revoir des offres par email des partenaires de Sophia Boutique.

DÉSIGNATION	RÉF	QTÉ	PRIX	TOTAL
La Montre Chronographe Jet Club	V172		59€	€
La Montre Chronographe Circuit	V217		59€	€
Frais d'envoi				OFFERTS
TOTAL DE MA COMMANDE				€

MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Je règle par chèque à l'ordre de **Sophia Boutique**

Pour régler par carte bancaire merci de contacter le 01 55 56 70 54 en précisant le code PSCA944, ou rdv sur www.sophia-boutique.com

Les Éditions Croque Futur situées au 41 bis avenue Bosquet, Paris 7e, et qui éditent Sophia Boutique sont responsables de traitement et collectent des données afin de servir votre commande. Vos données pourront être transmises à d'autres organismes (presse, VAD, caritatif) et sont conservées pour une durée de 3 ans à partir de votre commande. Vous pouvez exercer vos droits d'accès, de rectification, de limitation, de portabilité, d'opposition, d'effacement au traitement de vos données et définir vos directives postmortem à l'adresse mail suivante : dpo@sophiaboutique.fr en joignant une copie de votre carte d'identité. Les Éditions Croque Futur disposent d'un délégué à la protection des données pouvant être contacté au 41 bis avenue Bosquet, Paris 7e ou à l'adresse mail dpo@sophiaboutique.fr. À tout moment vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL.

PSCA944

Grippe aviaire

Une saison à très haut risque

L'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) ne cesse de progresser dans le monde. Après les volailles domestiques, le virus touche désormais des élevages bovins, et des cas chez les humains ont été recensés. Si aucune transmission interhumaine n'a été pour l'instant observée, les autorités sanitaires renforcent leur surveillance de peur d'une prochaine pandémie.

Par Loïc Chauveau

JEAN-LOU ZIMMERMANN / BIOSPHOTO

▲ **Les oiseaux sauvages** ne sont plus le seul réservoir du virus, qu'ils transmettent aux volailles domestiques lors de leurs migrations. Désormais, l'IAHP est présente en permanence dans les élevages.

Les vétérinaires sont inquiets et font preuve de vigilance. La saison de grippe aviaire qui s'ouvre en ce mois d'octobre est en effet celle de tous les dangers. L'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) gagne du terrain autant chez les oiseaux sauvages que domestiques. Et le virus a sauté la barrière des espèces. Plus d'une quarantaine d'espèces de mammifères sont désormais infectées, dont les bovins d'élevage. Enfin, de plus en plus de cas humains sont recensés, faisant craindre l'émergence d'une nouvelle pandémie.

« Pour l'Organisation mondiale de la santé animale (Omsa), il ne fait plus de doute que le virus est désormais endémique dans l'hémisphère Nord et ne dépend plus des migrations d'oiseaux sauvages », déplore Alexandre Fediaevsky, directeur par intérim du département de la préparation et de la résilience au sein de l'Omsa. Depuis son apparition en Chine en 1996, l'IAHP a régulièrement provoqué des épidémies hivernales du fait des migrations d'oiseaux nichant en Sibérie venus passer la mauvaise saison en Europe de l'Ouest et de l'Est. Entre 2005 et 2024, 633 millions de volailles domestiques en sont mortes. *« Mais depuis quelques années, le virus est présent en permanence dans les élevages domestiques et réapparaît dès que les conditions lui sont favorables »*, poursuit Alexandre Fediaevsky. Les oiseaux sauvages ne sont donc plus les vecteurs de la maladie et n'ont pas de responsabilité dans l'explosion épidémique en cours.

Suivre le développement d'un virus dans le monde animal n'est pas une sinécure. Il est difficile de détecter des mortalités anormales au sein de populations d'oiseaux hétérogènes, fréquentant des lieux difficiles d'accès. *« Nous animons un réseau comprenant des ONG, des sociétés de protection de la nature, des pêcheurs et chasseurs, des agriculteurs, des citoyens ayant une bonne*

connaissance des animaux pour retrouver dans le milieu naturel des cadavres que l'on peut autopsier », détaille Alexandre Fediaevsky. Les constats sont alarmants. Le virus est sorti de ses réservoirs traditionnels que sont les anatidés (canards et oies sauvages) et les laridés (oiseaux marins) pour infecter un nombre croissant de familles aviaires dont des passereaux, qui représentent la moitié des espèces d'oiseaux. *« Or, ce sont de petits oiseaux qui mettent peu de temps pour se décomposer dans la nature, et donc suivre l'évolution de l'épidémie devient de plus en plus difficile* », reconnaît le directeur d'un département nommé justement « préparation et résilience » pour souligner son objectif d'anticiper une épidémie de grande envergure et de s'adapter à une nouvelle donne sanitaire.

LEITENBERGER S/ANDIA.FR

En France, la vaccination est obligatoire depuis 2023 dans les élevages de plus de 250 canards.

Otaries, lions de mer, phoques, visons et renards testés positifs

Le dernier bulletin de l'Omsa publié en juin reflète une situation de basses eaux dans l'hémisphère Nord (l'IAHP ne se développe que dans des températures fraîches) et d'extension continue dans l'hémisphère Sud. Une forte épidémie s'est notamment déclarée en mai au Brésil et une autre en juin en Afrique du Sud. Entre octobre 2024 et juin 2025, 15 épidémies ont été rapportées sur des élevages de volailles, et 45 sur des oiseaux sauvages en Afrique, en Amérique, en Asie et en Europe. 372 000 poulets et canards ont été abattus. C'est moins qu'en 2022 où la maladie a connu un brusque pic, mais c'est bien plus qu'en 2023 qui semble avoir marqué un répit de courte durée. Au total, durant cette saison 2024-2025, 56 pays ont déclaré à l'Omsa la présence de l'IAHP au sein de leurs élevages, 1292 exploitations ont été affectées, soit près de deux fois plus que l'année précédente. 64 pays ont constaté la présence du virus chez des animaux sauvages. Et, surtout, 12 pays ont signalé une diffusion chez des mammifères. Cette situation nouvelle est très inquiétante. Jusqu'en 2023, il n'y avait pas de cas signalé de franchissement de barrière d'espèces. *« Or, le virus hautement pathogène H5N1 de l'influenza aviaire a réussi à passer cet obstacle, si bien qu'il est désormais détecté chez de nombreux mammifères* », s'alarme Barbara Dufour, professeur émérite d'épidémiologie et de maladies contagieuses à l'École nationale vétérinaire d'Alfort. L'IAHP est responsable d'une mortalité massive d'otaries et de lions de mer en Amérique du Sud. Des phoques ont été testés positifs en France et dans les pays du nord de l'Europe. La maladie a affecté des renards et des visons élevés pour leur fourrure en Espagne et en Finlande. En mai, c'est une brebis qui a été testée positive au Royaume-Uni.

HANS JUERGEN BURKARD/LAIF-REA

926 cas de bovins infectés par l'influenza aviaire ont été signalés aux États-Unis en 2024, le virus ayant franchi la barrière des espèces.

Une courbe ascendante de cas humains aux États-Unis

Mais c'est surtout aux États-Unis que la situation semble déraper. De plus en plus de vaches laitières sont infectées par l'influenza sans qu'aujourd'hui les épidémiologistes aient une vision claire de la diffusion du virus, du fait des réticences des éleveurs à déclarer la maladie. *« En juin 2024, on comptait 89 foyers de contamination dans des fermes de 12 États américains, puis 232 foyers dans 14 États en novembre, et, en décembre, 853 contaminations dans 16 États* », énumère Barbara Dufour. Les transmissions entre animaux se font vraisemblablement par l'air ambiant, mais aussi par les litières. Le commerce de bovins favorise, lui, la dispersion à grande échelle. Selon le décompte de juin de l'Omsa, 1022 foyers ont été recensés chez les mammifères au cours de la saison dernière, contre 459 en 2023. Et l'Omsa enregistrait 926 cas dans les seuls élevages américains de bovins.

Les cas humains ont suivi la même courbe ascendante. Le 1er avril 2024, les

ÉPIDÉMIOLOGIE

Une transmission entre humains est-elle à craindre ?

À ce jour, il n'a pas été détecté en France de cas de grippe humaine lié au virus influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) de sous-type H5N1. Toutefois, la soixantaine de cas aux États-Unis de personnes infectées à la suite de contacts prolongés avec des animaux d'élevage incite à la plus grande prudence. Même si, pour l'instant, aucune transmission interhumaine n'a été observée.

Cependant, le virus circulant depuis déjà plusieurs années, et étant donné le potentiel d'évolution génétique des influenza, il existe un risque non nul que puisse émerger une variante pouvant se transmettre entre humains et provoquer une épidémie, voire une pandémie. Plus ce virus circulera dans le monde, plus ce risque augmentera. Pour l'heure, impossible d'être plus précis. Ainsi, depuis 2023, les quatre régions les plus touchées par le virus en France, à savoir la Bretagne, la Nouvelle-Aquitaine, l'Occitanie et les Pays de la Loire, ont été placées sous un dispositif de surveillance renforcée. En Europe, il n'existe qu'un seul vaccin prépandémique disposant d'une autorisation de mise sur le marché, le Zoonotic Influenza Vaccine (H5N8). Mis au point par le laboratoire Seqirus, il s'agit d'un vaccin inactivé contenant la souche H5N8, considérée comme la meilleure candidate pour protéger contre les souches d'Influenza H5 en circulation. En cas d'augmentation des cas animaux et la présence de cas humains sévères au contact de ces foyers, la Haute Autorité de Santé recommanderait la mise en place de la vaccination en priorisant les groupes exposés à l'infection, en premier lieu les éleveurs de volailles et de bovins et les personnels de laboratoire. **Hervé Ratel**

autorités sanitaires américaines ont rapporté le premier cas d'un homme infecté par des vaches laitières. Entre le premier signalement d'avril et décembre 2024, les États-Unis sont passés à 60 cas humains confirmés, 37 par contact avec des vaches laitières, 21 par des volailles infectées, sauvages ou domestiques, et deux où la cause n'a pu être identifiée. Les personnes infectées travaillent pour la plupart dans des élevages. *« Pour les bovins, il semble qu'elles aient été infectées dans les salles de traite où l'air est confiné »*, estime Barbara Dufour. Les malades ont surtout développé des conjonctivites et, dans une moindre mesure, des affections pulmonaires. En décembre 2024, un premier patient âgé de 65 ans est mort en Louisiane, mais l'influenza s'est ajoutée à d'autres pathologies chez cet homme déjà très malade. Depuis janvier cependant, le compteur du Centre pour le contrôle et la prévention des maladies (CDC) est resté bloqué à ce bilan. Officiellement donc, aucun nouveau cas de transmission à l'humain n'a été constaté lors de ces six derniers mois, sans aucune explication des autorités américaines.

À ce jour, aucune transmission interhumaine n'a été rapportée (*lire l'encadré ci-dessus*). Le niveau de risque est considéré comme *« faible »* pour les individus en général, et *« faible à modéré »* pour les personnes en contact rapproché avec les animaux, selon les critères de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et du Centre européen de prévention et de contrôle des maladies. De plus, le génotype du virus qui se diffuse aux États-Unis est différent de celui présent en Europe, ce qui limite les risques de transmission d'un continent à l'autre.

Mais le précédent du Covid-19 incite à la plus grande prudence. Et à se préparer dès maintenant à ce qui pourrait arriver. Sur ce point, les dernières décisions de l'administration Trump inquiètent beaucoup d'épidémiologistes des deux côtés de l'Atlantique. Ainsi, le 28 mai, le département de la santé, dirigé par le vaccinosceptique Robert F. Kennedy, a annulé un contrat de 505 millions d'euros avec le laboratoire Moderna pour le développement d'un vaccin à ARN messager contre l'IAHP. Robert Kennedy a suggéré de laisser la mala-

STUDIO FLK

« Dans les élevages bovins, il semble que les personnes aient été infectées dans les salles de traite où l'air est confiné »

Barbara Dufour, professeur émérite d'épidémiologie et de maladies contagieuses à l'École nationale vétérinaire d'Alfort (Val-de-Marne)

die se développer au sein des élevages pour pouvoir détecter la petite minorité d'animaux qui résistent au virus. Le développement accéléré de l'IAHP dans le monde animal lui donne tort. *« Ce virus s'adapte très vite à de nouveaux hôtes, comme le montre sa diffusion de plus en plus forte au sein d'un nombre croissant d'espèces sauvages »*, remarque Alexandre Fediaevsky. Laisser faire, c'est prendre le risque de favoriser une mutation du virus qui le rende par exemple facilement transmissible entre humains.

La France est le seul pays européen à autoriser la vaccination. Elle est pratiquée depuis octobre 2023, entérinant ainsi le fait que le virus est bien présent de façon endémique dans les élevages. Le 6 février, la Direction générale de la santé a diffusé une « note urgente » en direction des médecins généralistes et spécialistes, des infirmiers, des sages-femmes et des pharmaciens. Celle-ci détaille les précautions à prendre dans la prise en charge de patients avec syndrome grippal. Les laboratoires doivent cibler le type (A ou B) et le sous-type saisonnier (H1 et H3). Si les prélèvements sont positifs, un signalement doit immédiatement être fait auprès des agences régionales de santé.

> « Ce virus s'adapte très vite à de nouveaux hôtes, comme le montre sa diffusion de plus en plus forte chez les espèces sauvages »
>
> **Alexandre Fediaevsky,** directeur par intérim du département de la préparation et de la résilience à l'Omsa

Un programme commun de surveillance à l'échelle mondiale

Les praticiens doivent désormais interroger les malades sur la fréquence de leurs relations avec des animaux. En premier lieu, ce sont les contacts avec des volailles et des porcs qui sont recherchés, mais tous les animaux domestiques sont concernés, y compris les chats et les chiens. Car ces animaux les plus proches d'une majorité d'humains sont aussi atteints, notamment les chats. Des cas d'infection ont été signalés en Californie (États-Unis) et en Pologne.

La prudence s'impose, d'autant que les transmissions de maladies animales à l'humain sont de plus en plus fréquentes. 60 % des maladies humaines émergentes sont aujourd'hui d'origine animale, du fait d'une proximité grandissante avec les espèces sauvages. Ainsi, avec l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'OMS, l'Omsa participe à un programme commun de surveillance des maladies zoonotiques susceptibles d'affecter l'humain. Selon le récent principe « One health » qui lie intimement santé animale, humaine et environnement. Médecins, agronomes, vétérinaires doivent désormais travailler main dans la main. ■

RAPPORT

Les autres maladies animales recensées dans le monde

L'Omsa a publié en juin 2025 son premier rapport sur la situation mondiale des maladies animales. Toutes sont en forte hausse. Outre l'IAHP, voici les évolutions en 2025 de quatre principales pathologies.

LA FIÈVRE CATARRHALE OVINE

▸ 37 pays ont déclaré des foyers de cette maladie virale. Autrefois tropicale, cette affection touche aujourd'hui l'ensemble de l'Europe. De nouvelles souches sont apparues au Botswana, en Libye et au Pérou.

LA FIÈVRE APHTEUSE

▸ 42 pays ont déclaré 216 foyers. La maladie est apparue en Afrique du Sud. De nouvelles souches ont été détectées en Chine, en Palestine et aux Comores. 14 pays ont constaté une réémergence, dont l'Allemagne, la Hongrie et la Slovaquie.

LA DERMATOSE NODULAIRE CONTAGIEUSE

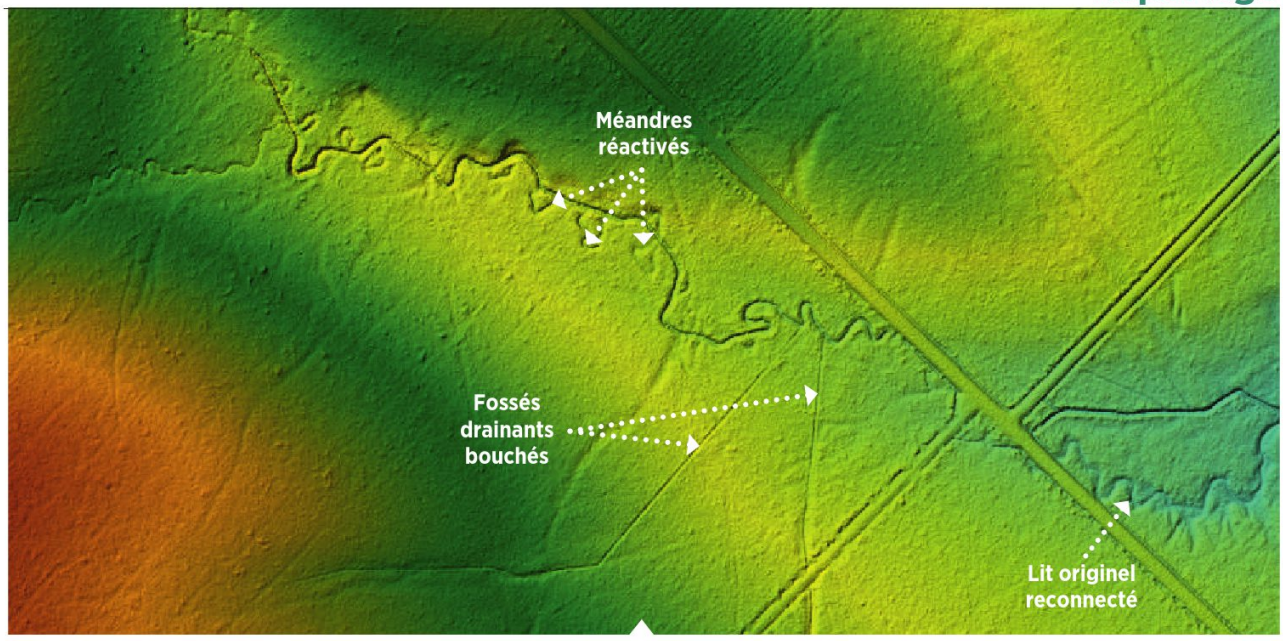
▸ Des cas sont apparus en juillet 2025 dans les Alpes françaises. Auparavant, 38 pays avaient signalé sa présence. Détectée pour la première fois en Afrique du Nord, elle est aujourd'hui présente en Europe, en Asie et au Japon.

JEAN-LUC FLEMAL / BELPRESS / ANDIA

48 pays ont déclaré des foyers de PPA en un peu plus d'un an.

LA PESTE PORCINE AFRICAINE (PPA)

▸ La PPA ne cesse de s'étendre et son éradication est de plus en plus difficile. De 2024 à mai 2025, 48 pays ont déclaré près de 15 000 foyers. Le virus a été détecté pour la première fois au Monténégro, en Albanie et au Sri Lanka.



RGE ALTI

Vue lidar d'une petite partie du bassin-versant du Brévant, au sud de Troyes. Les travaux achevés en mars dernier ont permis de reconstituer le réseau hydrographique bouleversé dans les années 1960, en reconnectant les méandres du lit historique du cours d'eau.

Restaurer le cours naturel des rivières contre les inondations

L'hydrologie régénérative est une technique d'aménagement des rivières destinée à ralentir et stocker toutes les eaux de pluie et de ruissellement. Reportage dans l'Aube où techniciens forestiers et ingénieurs ont restauré le tracé originel de plusieurs cours d'eau.

« *Vous voyez ces mares ?*, interroge l'ingénieure hydrologue Charlène Descollonges, en pointant du doigt trois petites étendues d'eau au milieu du bois. *Là, il n'y avait que du sol forestier.* » Quelques mètres plus loin, elle s'arrête pour montrer les sinuosités du lit d'un ruisseau. Dans le département de l'Aube, forestiers de l'Office national des forêts (ONF) et techniciens gestionnaires de l'eau ont réussi leur pari : restaurer le tracé originel du ru de Vérien, petit affluent de la rivière Hozain. Cette opération devrait mettre fin aux inondations répétées subies par la commune de Rumilly-lès-Vaudes liées aux crues des affluents de l'Hozain : 25 maisons avaient ainsi été inondées en 2010, 26 en 2012 et 30 en 2018. En cause : des travaux réalisés en 1982 qui avaient reprofilé les 32 kilomètres du ru de Vérien et rectifié ses 77 méandres en ligne droite, afin d'évacuer l'eau plus rapidement pour rendre productives des zones qui étaient humides et garantir des pistes forestières praticables en toutes saisons.

« Il a fallu mettre en œuvre toute une panoplie de techniques afin de ralentir l'eau et la pousser à revenir naturellement dans les méandres d'origine, alors qu'on l'avait contrainte à s'écouler tout droit et très rapidement », explique Johan

Leseurre, technicien forestier à l'ONF. Cette approche novatrice — déployée à titre expérimental sur plusieurs sites en Europe (*lire l'encadré ci-dessous*) — s'appelle l'hydrologie régénérative. Elle généralise les principes du « Keyline design », lecture du paysage théorisée dans les années 1950 par l'agriculteur australien Percival Alfred Yeomans. Le principe est de revisiter des techniques anciennes mais délaissées pour *« aménager le territoire de façon à ralentir, répartir, infiltrer, stocker toutes les eaux de pluies et de ruissellement »*, résume Charlène Descollonges.

EMMA NICOLAS

Le ru de Vérien, dans la forêt domaniale de Rumilly-lès-Vaudes (Aube), est parsemé de piquets de bois servant de bouchons naturels pour ralentir le courant.

Une trentaine de méandres restaurés en quatre ans

Dans la forêt domaniale de Rumilly-lès-Vaudes, les travaux ont commencé en 2019, à la suite d'une longue phase d'études. Le ru de Vérien est désormais parsemé de piquets de bois installés verticalement et horizontalement pour capturer davantage de branches mortes et faire des bouchons naturels, ou encore de fascines, *« sortes de petites haies tressées destinées à retenir les sédiments des berges »*, explique l'ingénieure.

Lors de cette visite de contrôle, Charlène Descollonges peaufine le dispositif. Elle soulève une grosse branche qu'elle cale ensuite dans le lit du cours d'eau. *« Cet ouvrage, c'est un embâcle : une accumulation de branches mélangées aux matériaux du sol (sables et limons argileux) qui permet de dissiper le flux de l'eau »*, décrit l'ingénieure hydrologue. *« Ralentir le courant permet de retarder la sortie de l'eau de la forêt. En cas de fortes pluies, cela évite qu'un trop grand volume d'eau ne déferle en même temps dans le village »*, complète Johan Leseurre. Bottes enfoncées dans le lit du ru, il s'assure que les piquets de bois sont toujours bien en place. *« Pour tous ces travaux, nous n'avons pas importé de matériaux : ils étaient déjà sur site »*, précise-t-il.

En quatre ans, l'opération a permis de restaurer 2,5 kilomètres de linéaire sur le chevelu hydrographique et de recréer une trentaine de méandres. Coût total des travaux : 80 000 euros, financés à 80 % par l'agence de l'eau Seine-Normandie et à 20 % par le syndicat départemental des eaux de l'Aube, maître d'ouvrage du chantier qui a travaillé de concert avec l'ONF. Un investissement qui semble porter ses fruits. *« Il n'y a pas eu de nouvelles inondations depuis les travaux,* s'enthousiasme Théophile Miori, technicien rivière au syndicat départemental des eaux de l'Aube. *En hiver, on voit que l'eau vient complètement recharger la nappe et les sols forestiers. Et en été, le ru de Vérien ne s'assèche plus complètement.* » Mieux : *« La restauration des méandres a créé des bras secondaires qui s'ouvrent sur les côtés et qui alimentent des petites zones humides »*, explique Johan Leseurre. Ce premier chantier terminé, d'autres vont être lancés cet automne au niveau du ru d'Erlant, toujours sur le bassin-versant de l'Hozain.

Un suivi des niveaux d'eau et de la dendométrie

À quelques kilomètres de là, le second projet de la région Grand Est est plus ambitieux encore. Achevé en mars, il a permis de restaurer 150 méandres sur plus de huit kilomètres d'un autre cours d'eau alimenté par neuf affluents : le Brévant. *« On a restauré un linéaire de cours d'eau qui correspond à celui*

HYDROLOGIE RÉGÉNÉRATIVE

De nombreuses expérimentations en Europe

La Slovaquie a été le premier pays européen à avoir largement déployé l'hydrologie régénérative sur son territoire. À la suite d'inondations dévastatrices dans la région de Košice en 2010, un plan de restauration a été voté et mis en place sur dix ans pour déployer des pratiques d'hydrologie régénérative en milieu forestier et agricole dans 488 communes. Plusieurs expériences ont également été amorcées en Belgique ces dernières années. En France, un projet similaire à celui en cours dans l'Aube a été lancé sur le bassin-versant du Bost (Drôme). En Bourgogne-Franche-Comté, le massif forestier de Pontigny et le bassin-versant du Créanton (Yonne) font également l'objet d'études. L'association Pour une hydrologie régénérative, née en octobre 2022, a été créée pour accompagner la recherche scientifique autour de ces approches et pour faciliter le travail de mise en lien des acteurs.

d'avant les travaux de simplification des années 1960 », assure Matthias Alloux, chef de projet Gemapi au syndicat mixte du bassin-versant de l'Armançon (SMBVA). Le coût du projet a cette fois atteint les 300 000 euros.

Le bassin-versant du Brévant, qui s'étend sur 2400 hectares dans le massif forestier de Rumilly-Chaource, avait lui aussi subi d'importantes modifications qui ont bouleversé le réseau hydrographique. Conséquences : assèchements de la forêt plus réguliers l'été, dépérissement des arbres et augmentation des crues en aval. L'origine des dégâts saute aux yeux sur une carte obtenue grâce au lidar (technologie laser utilisée pour cartographier le relief avec précision) du massif forestier. *« Elle montre très clairement que toute la forêt était largement drainée,* explique Matthias Alloux. *Les cours d'eau avaient tous été rectifiés, curés* ». Pour y remédier, l'ONF et le SMBVA ont lancé en 2023 un chantier de grande ampleur. *« Nous avons bouché les fossés de drainage* [ouvrages artificiels destinés à évacuer l'eau] *et creusé en suivant les courbes, avec deux pelleteuses, pour retracer le lit historique du Brévant et de ses affluents* », détaille-t-il. L'évolution des niveaux d'eau est suivie de près grâce à l'installation de piézomètres et de sondes de débit. Les forestiers de l'ONF conduisent également un suivi dendrométrique afin de mieux connaître la dynamique forestière. *« Ce fonctionnement que l'on essaye de recréer correspond au fonctionnement naturel de ces milieux. La forêt a besoin d'eau : on observe une meilleure pérennité forestière avec des arbres qui s'assèchent moins en bordure du ru* », explique Jean-Baptiste Richard, responsable environnement à l'ONF. *« Cela profite aussi à la petite faune. On s'est rendu compte que cela favorisait le développement de batraciens, comme le sonneur à ventre jaune* (Bombina variegata) », complète Théophile Miori. *« En restaurant la qualité hydromorphologique des cours d'eau, on redonne vie à tout un écosystème forestier. Les milieux retrouvent leur fonctionnalité* », assure Charlène Descollonges. ■ **Emma Nicolas**

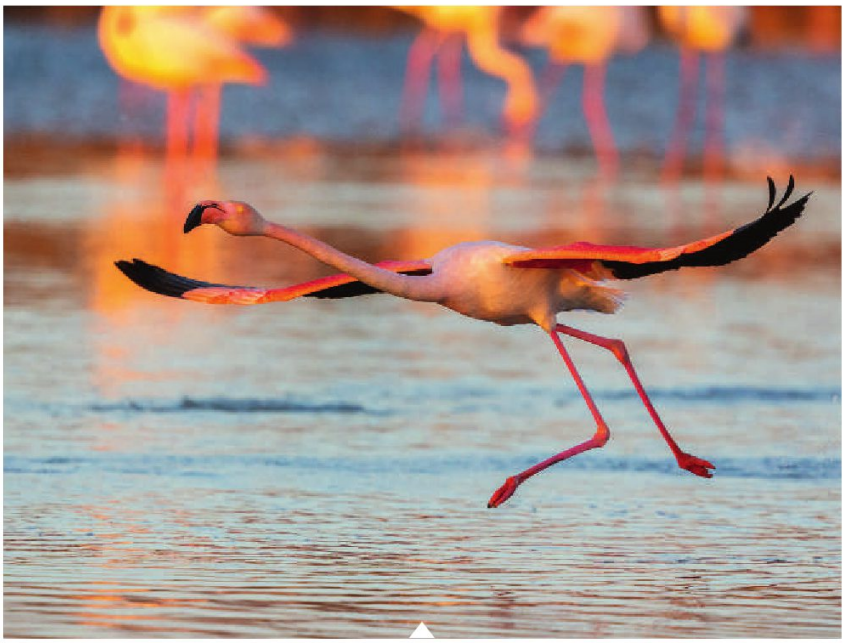
CLÉMENTINE GRAS

« En restaurant la qualité hydromorphologique des cours d'eau, on redonne vie à tout un écosystème forestier »

Charlène Descollonges, ingénieur hydrologue

Le choix cornélien des flamants roses

Une étude montre que la décision de migrer ou de rester sur place affecte la survie et la reproduction de ces oiseaux durant toute leur vie.



DAVID GREYO / NATURAGENCY

Bien que les spécimens migrateurs aient une espérance de vie plus faible, leurs performances de reproduction diminuent plus lentement que celles des « résidents ».

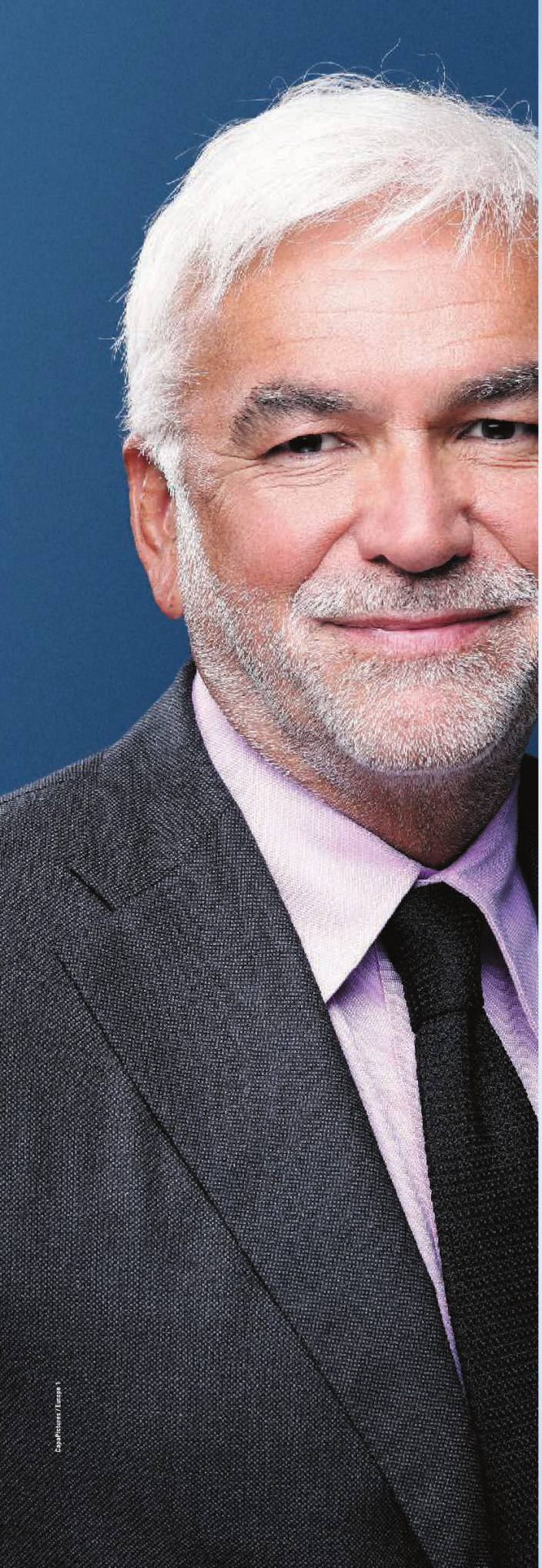
Migrer ou rester sur place ? Chez les flamants roses (*Phoenicopterus roseus*), ceux qui décident de partir sont généralement les plus faibles. Ils veulent ainsi éviter la compétition avec leurs congénères « résidents » durant les hivers rugueux. Ce choix affectera sur le long terme la vie de ces oiseaux. Une étude française, parue dans la revue *Pnas*, révèle ainsi *« l'impact crucial de la migration sur la survie et la reproduction tout au long de la vie, illustrant ainsi le rôle joué par les décisions comportementales dans la biologie du vieillissement »*.

Les auteurs de cette nouvelle étude ont utilisé des données couvrant 44 années et 1840 flamants roses évoluant dans le bassin méditerranéen. Ils ont observé que les flamants roses résidents reçoivent les bénéfices de leur choix au début de leur vie : ils affichent une mortalité plus faible et une probabilité de reproduction plus élevée que celles des migrants. Ces derniers doivent en effet faire face à des dépenses énergétiques extrêmes lors de leur voyage et sont soumis à plusieurs dangers. De quoi perturber de jeunes oiseaux manquant encore d'expérience. Mais les bénéfices pour les oiseaux résidents s'estompent avec l'âge. Ainsi, les chercheurs ont découvert qu'ils présentent un vieillissement accéléré par rapport aux autres oiseaux. *« Les résidents ne bénéficient d'un avantage de reproduction qu'en début de vie. Leurs performances de reproduction diminuent plus vite que celles des migrants en fin de vie »*, remarque Hugo Cayuela, auteur principal de l'étude et chercheur au département de biologie de l'université d'Oxford (Royaume-Uni).

Les sédentaires vivent sept ans de plus que les migrateurs

Les oiseaux résidents subissent également un déclin de leur survie plus rapide que les oiseaux qui migrent. Celui-ci est peut-être provoqué par une accélération de l'instabilité du génome, une diminution accrue des télomères (structures protectrices coiffant les chromosomes et rétrécissant avec l'âge), ou encore une altération plus précoce de l'épigénome. Un effort reproductif particulièrement intense au début de la vie pourrait en être la cause. *« Ce sont des mécanismes que nous aimerions investiguer dans les années à venir »*, précise le chercheur. Les oiseaux sédentaires vivent néanmoins près de sept ans de plus que leurs congénères migrateurs. *« Malgré une augmentation plus rapide du risque de mortalité en fin de vie, leur mortalité plus faible en début de vie adulte entraîne une espérance de vie et une longévité à 80 %* [c'est-à-dire l'âge auquel 80 % des adultes vivant à la période de première reproduction sont morts] *plus grandes »*, conclut Hugo Cayuela. ■

Anne-Sophie Tassart



PASCAL PRAUD

9H - 10H
L'HEURE DES PROS

16H - 18H
PASCAL PRAUD ET VOUS

Europe 1
LA RADIO LIBRE

« **Bathypterois longipes** » (à gauche une larve) et « Kali macrodon » (ci-dessus) sont des poissons abyssaux.

Explorer les abysses

Le festival Grand Océan réunit du 24 au 27 septembre les meilleurs spécialistes de la recherche marine à Cherbourg-en-Cotentin. Cette 4e édition est plus particulièrement consacrée aux grands fonds marins, à leur exploration et à l'exploitation de leurs ressources. Un enjeu que les quatre partenaires institutionnels du festival mettent en avant au travers de leurs actions.

Après la biodiversité, l'innovation, le trait de côte, notre rendez-vous annuel avec l'océan à la Cité de la mer vous invite à explorer les abysses. Un vaste territoire inconnu : 99,999 % des grands fonds marins n'ont jamais été observés ! Pourtant, malgré l'obscurité, le froid et la pression, il ne s'agit pas d'un territoire désolé, bien au contraire. Une vie encore largement mystérieuse y foisonne. Les sources hydrothermales, où la vie est abondante, n'ont été découvertes qu'en 1977. Et un submersible chinois vient tout juste de mettre au jour dans le Pacifique un écosystème inconnu qui se développe dans un milieu très froid. Aujourd'hui, l'imminence des premiers projets d'exploitation des ressources minières et en particulier des nodules polymétalliques, constitue une menace pour cette biodiversité à peine connue. Dans l'attente de la définition d'une gouvernance, les enjeux économiques se confrontent aux enjeux de préservation. Trois mois après la conférence des Nations unies pour l'océan (Unoc) à Nice, organisée par la France et le Costa Rica, il est l'heure de faire le bilan.

Comme chaque année, le festival Grand Océan réunira les meilleurs spécialistes de la recherche marine. En plus de dresser un état de l'art de la science, ils tourneront leurs regards vers le futur. Car celui-ci se dessine intensément à Cherbourg-en-Cotentin avec la présence d'acteurs majeurs dans la conception et la production d'éoliennes, d'hydroliennes, de sous-marins, de ports, etc. Les métiers de demain s'inventent aujourd'hui. L'histoire reste à écrire. Venez nous rejoindre pour y participer ! ■ **Mathieu Nowak**

Tout le programme est sur www.grandocean-event.com

FABIEN MICHENET / BIOSPHOTO - FABIEN MICHENET / BIOSPHOTO

Les temps forts

- Quel bilan pour la conférence des Nations unies pour l'océan ? avec son organisateur, **Olivier Poivre d'Arvor,** ambassadeur des Pôles.
- Les premières observations de la vie abyssale, avec **Michel Segonzac,** spécialiste d'écologie abyssale, attaché honoraire au Muséum national d'histoire naturelle à Paris.
- Comment l'océan devient un sujet géopolitique majeur, avec **Philippe Chalmin,** spécialiste des matières premières, professeur d'histoire économique à l'université Paris-Dauphine-PSL.
- Sensibiliser les jeunes générations aux enjeux de l'océan, avec **Estelle Lefébure,** cofondatrice de Spero Mare.
- Habiter la mer, avec **Jacques Rougerie,** architecte-océanographe et membre de l'Académie des beaux-arts.

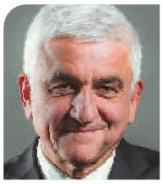
LA MER COMME SUJET DE RÉFLEXION

VILLE DE CHERBOURG-EN-COTENTIN

Benoît Arrivé, Maire de Cherbourg-en-Cotentin

« Construction navale, pêche côtière et hauturière, plaisance, énergies marines renouvelables, passerelle vers les îles anglo-normandes, le Royaume-Uni et l'Irlande… Cherbourg-en-Cotentin est née de la mer et s'y est arrimée au fil des siècles. Ici, la mer est plus qu'un paysage : elle est le travail, la ressource et l'évasion. Chaque année, Grand Océan vient poser les mots des scientifiques, des chercheurs et des amoureux de la mer et nous invite à en faire pendant deux jours notre seul et unique sujet de réflexion.
Faut-il exploiter les ressources de l'océan ? Quelle gouvernance doit y présider ? Quelle limite devons-nous fixer ? Et en toile de fond, quel est l'état de nos connaissances sur les fonds marins ? Après Nice, qui accueillait en juin la 3e conférence des Nations unies sur l'océan, la Cité de la mer reviendra sur les conclusions du sommet international sur l'utilisation et la protection des océans. Un rendez-vous à ne pas manquer. » ■

UNE RÉGION QUI S'ENGAGE ACTIVEMENT POUR VALORISER LE PATRIMOINE MARITIME



RÉGION NORMANDIE

Hervé Morin Président de la Région Normandie

« La Région Normandie est particulièrement fière de soutenir, une fois encore, l'organisation de la 4e édition du festival Grand Océan, qui se déroule du 24 au 27 septembre 2025. La mer est au cœur de l'identité normande. Elle façonne nos paysages, mais aussi notre économie, notre mode de vie et nos priorités d'action. La Région s'engage activement pour valoriser ce patrimoine à travers le développement de ses ports, la promotion des énergies marines renouvelables, la préservation de la biodiversité et le nautisme.
Toutefois, cette action ne prend sens que si elle est portée collectivement. C'est en cela que le festival Grand Océan compte. En réunissant des spécialistes de la mer et des citoyens autour d'enjeux cruciaux, il sensibilise à la protection des océans, encourage la coopération entre acteurs et stimule l'émergence de solutions innovantes.
Cette mobilisation est d'autant plus cruciale que notre territoire est particulièrement exposé aux effets du changement climatique. Selon le Giec normand, près des deux tiers du littoral sont concernés par l'érosion du trait de côte, avec un recul des falaises crayeuses de 20 à 25 centimètres par an et jusqu'à 40 centimètres à certains endroits. Afin d'y faire face, la Région investit depuis plusieurs années dans la renaturation et la protection des zones côtières. Le festival Grand Océan s'inscrit pleinement dans cette dynamique régionale et participe grandement à la vitalité de la mer normande.
Très belle édition à toutes et à tous ! » ■

CITÉ DE LA MER

Frédéric Moncany de Saint-Aignan, Président de la Cité de la mer

UN INTÉRÊT GRANDISSANT DES POUVOIRS PUBLICS ET DU GRAND PUBLIC POUR L'OCÉAN ET SA PROTECTION

« C'est donc parti pour la 4e édition de Grand Océan à La Cité de la mer et je m'en réjouis ! En pleine année de la mer et après la conférence des Nations unies (Unoc) qui s'est déroulée en juin à Nice, nous constatons avec plaisir un intérêt grandissant des pouvoirs publics et du grand public pour l'océan et sa protection. Il ne peut en être autrement quand on sait que notre pays détient le deuxième domaine maritime mondial !

Évidemment, depuis plus de vingt ans, les visiteurs de La Cité de la mer ont la chance d'être sensibilisés toute l'année en parcourant nos expositions comme « L'Océan du Futur » et nos 17 aquariums, dont l'aquarium abyssal qui représente une faille polynésienne sur plus de 10 m de profondeur. En découvrant la richesse et la beauté des écosystèmes marins, ils prennent conscience qu'il faut continuer de découvrir cet environnement encore

La Cité de la mer, à Cherbourg-en-Cotentin, accueille chaque année le festival Grand Océan.

GRAND OCÉAN : UN CAP AMBITIEUX POUR LE COTENTIN

A. PICOT

Christèle Castelein Présidente de l'Agglomération du Cotentin

« Le Cotentin est une terre maritime par nature. Avec ses 220 kilomètres de côtes, il entretient un lien profond avec la mer, inscrit dans son histoire autant que dans son avenir. De ses chantiers navals de renommée mondiale à ses ports dynamiques, en passant par une filière des métiers de la mer riche et vivante, notre territoire vit au rythme de l'océan.

Aujourd'hui, ce lien se réinvente autour d'un nouvel horizon : celui des énergies marines. Une filière d'avenir, au croisement de l'innovation, de la transition écologique et de la souveraineté énergétique.

Avec Grand Océan, l'Agglomération du Cotentin affirme une ambition forte : faire de la mer un levier majeur de développement économique, scientifique et environnemental. Ce projet structurant s'inscrit dans notre stratégie maritime Terre bleue, qui fédère les forces vives du territoire — entreprises, universités, filières nautiques — autour de projets à haute valeur ajoutée, capables de faire rayonner le Cotentin bien au-delà de ses frontières.

Terre bleue, c'est bien plus qu'un nom : c'est une identité. Celle d'un territoire qui regarde vers l'avenir, avec une vision partagée et engagée. Une vision qui place la mer au cœur des grands enjeux de notre siècle : climat, biodiversité, énergie.

inconnu avec précaution, et qu'il faut surtout le protéger des envies d'exploitation ravageuses. À la Cité de la mer, nous croyons beaucoup dans les générations de demain, et c'est grâce à des rencontres pédagogiques et des manifestations éducatives que nous organisons ou que nous accueillons comme Grand Océan, que nous arrivons à diffuser nos messages et ceux de nos invités. Les nombreux événements contribuent au savoir et à la diffusion de ces savoirs, c'est primordial. En tant qu'acteur majeur dans l'éducation à la mer, nous sommes fiers de voir Grand Océan à nouveau se déployer au cœur de notre magnifique site." ■

B.ALMODOVAR

La Cité de la mer, lieu emblématique de notre patrimoine maritime, incarne cette dynamique. À la fois espace de transmission, de sensibilisation et de découverte, elle participe pleinement à cette ambition de mieux connaître, mieux protéger et mieux valoriser l'océan.

Avec Grand Océan, nous traçons ensemble un cap clair. Aux côtés de nos partenaires publics et privés, l'Agglomération du Cotentin s'engage avec conviction et détermination pour faire de la mer une force d'avenir, au service des générations futures et du rayonnement du Cotentin." ■

P.MASSIT

QUESTIONS À

Olivier Thibault

Directeur général de l'Office français de la biodiversité (OFB), partenaire de Grand Océan

Des aires marines gérées collectivement

Quelles sont les missions de l'OFB sur la mer ?

L'Office français de la biodiversité, ce sont 3000 agents mobilisés pour protéger le vivant : animaux, plantes, mais aussi les milieux naturels indispensables à leur survie et à la nôtre. L'OFB est le premier gestionnaire d'aires marines protégées en France. Ses missions ? Mieux connaître la biodiversité marine et partager cette connaissance ; accompagner les citoyens, les professionnels de la mer et les institutions pour réduire leur impact sur l'environnement ; faire respecter le droit et les règles grâce à la police de l'environnement. Pour l'OFB, protéger le vivant, c'est préserver notre avenir !

Qu'est-ce qu'une aire marine protégée ?

C'est une zone en mer où l'on agit pour préserver les espèces et leurs habitats. La plupart des aires marines protégées françaises ont été créées au cours des quinze dernières années. Ces zones ont été choisies car elles abritent une grande richesse de vie. On y trouve des habitats rares, des espèces menacées et des zones essentielles à leur survie. Ce qui fait la force de ces aires marines, c'est qu'elles sont gérées collectivement par les acteurs locaux : élus, professionnels, scientifiques, associations et institutions qui y vivent et y travaillent. Aujourd'hui, elles couvrent un tiers des eaux françaises et prennent plusieurs formes : réserves naturelles, parcs naturels marins…

Les activités humaines sont-elles interdites dans ces aires marines ?

Elles y sont encadrées, mais cela ne signifie pas qu'on y interdit tout : la pêche, la plongée ou d'autres activités restent possibles, à condition qu'elles ne soient pas une menace pour la biodiversité. Dans certaines zones très sensibles, des règles strictes s'appliquent : certaines pratiques, comme la pêche ou l'ancrage, peuvent y être totalement interdites. Dans d'autres cas, comme les parcs naturels marins ou les sites Natura 2000, les activités humaines doivent démontrer qu'elles ne nuisent pas à la biodiversité. Ce fonctionnement permet de garantir un équilibre entre utilisation et protection des océans.

BARANOZDEMIR/GETTY IMAGES

Le PET-scan (ou tomographie par émission de positons) permet de détecter des cellules cancéreuses à un stade précoce, de les localiser avec précision et de suivre leur évolution au cours d'un traitement.

Cancers précoces

Enquête sur une mystérieuse augmentation

Comment expliquer l'augmentation des cas de cancers chez les moins de 50 ans alors que ces maladies sont considérées comme liées au vieillissement ? Le mode de vie et l'augmentation des dépistages ne suffisent pas à expliquer ce phénomène. Problème : les tumeurs d'apparition précoce sont moins sensibles aux traitements standards du fait de leur détection tardive.

Par Enola Tissandié

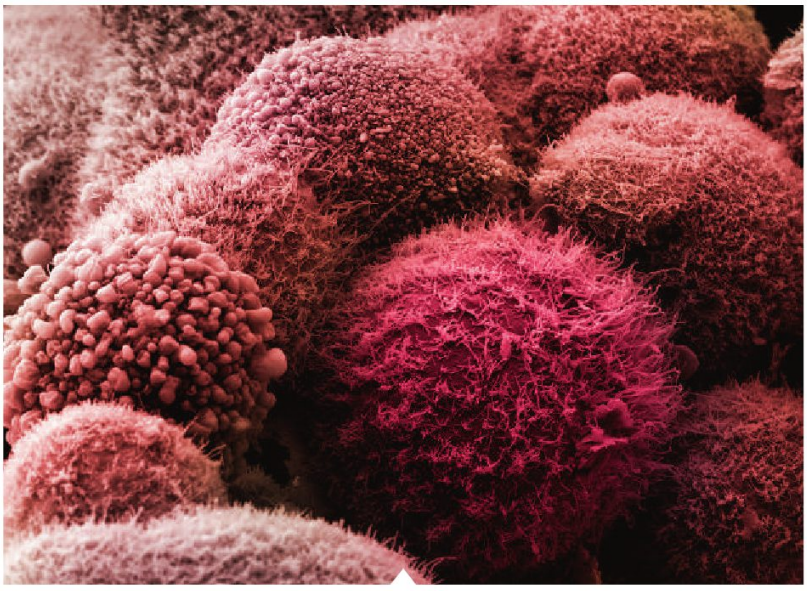
« *J'ai accepté de l'intégrer à mon quotidien, un peu comme une maladie chronique.* » Hélène ne s'attendait pas à vivre sa deuxième récidive de cancer colorectal à 45 ans. Cinq ans auparavant, son médecin généraliste lui prescrit une coloscopie à la suite de troubles digestifs. Il n'est pas inquiet, Hélène est *« trop jeune pour avoir un cancer »*. Moins d'un mois plus tard, on lui annonce qu'elle est atteinte d'un cancer du côlon. Hélène est pourtant loin d'être un cas isolé. En 2023, une étude internationale publiée dans le *British Medical Journal Oncology* fait grand bruit : en s'appuyant sur des données mondiales, des chercheurs observent une hausse de 79,1 % du nombre de cas de cancers diagnostiqués chez les adultes de moins de 50 ans, entre 1990 et 2019. Cette croissance touche une douzaine de localisations, avec des taux particulièrement marqués pour les cancers colorectaux, du pancréas, de l'estomac et, chez les femmes, du sein. Les cancers « précoces » (*early-onset cancer*, en anglais) désignent des cancers survenant chez des adultes de moins de 50 ans, une tranche d'âge considérée comme jeune par rapport à l'âge moyen de survenue de la plupart des cancers, souvent supérieur à 70 ans. Si ▸

l'étude est sérieuse, son interprétation est néanmoins délicate. Tout d'abord, le chiffre global des cas de cancers n'est pas pondéré par l'augmentation de la population dans cette tranche d'âge. Par ailleurs, durant cette période, le dépistage a progressé *(lire l'encadré p. 68)*. Le chiffre de 79,1 % ne signifie donc pas que le risque effectif de développer un cancer précoce a augmenté d'autant en trente ans. Tous les médecins interrogés par *Sciences et Avenir* s'accordent à dire que l'augmentation est néanmoins réelle, mais différente selon le sexe et la localisation des tumeurs. Ainsi, en France, l'incidence du cancer colorectal a augmenté de 5,4 % par an entre 1998 et 2017 chez les femmes âgées de 20 à 39 ans, selon le Centre international de recherche sur le cancer (Circ), alors qu'elle est restée stable chez les hommes de moins de 50 ans. En revanche, chez ces derniers, on a enregistré une augmentation annuelle de l'incidence des cancers du pancréas de 5,4 % et du rein de 5,3 % (*voir l'infographie ci-contre*).

ÉPIDÉMIOLOGIE

L'énigme du cancer du pancréas

Le cancer du pancréas, ou adénocarcinome pancréatique, est une énigme pour les médecins épidémiologistes. Entre 2010 et 2023, son incidence a augmenté en moyenne de 1,6 % par an chez les hommes et de 2,1 % chez les femmes en France (INCa, 2024). Il progresse ainsi deux à trois fois plus vite en France que dans le reste de l'Europe *« Il s'agit d'un cancer rare, associé à une mortalité élevée et dont peu de facteurs de risque ont été identifiés »*, ajoute Cyrille Delpierre, épidémiologiste à l'université de Toulouse. Fin 2024, une équipe franco-britannique a pointé le possible rôle des pesticides, dont la France est le septième plus gros utilisateur au monde. Dans une étude inédite, ils ont révélé une forte corrélation entre les régions où ils sont employés et l'incidence du cancer du pancréas. Mais la causalité reste à démontrer.



DR STANLEY FLEGLER/BSIP

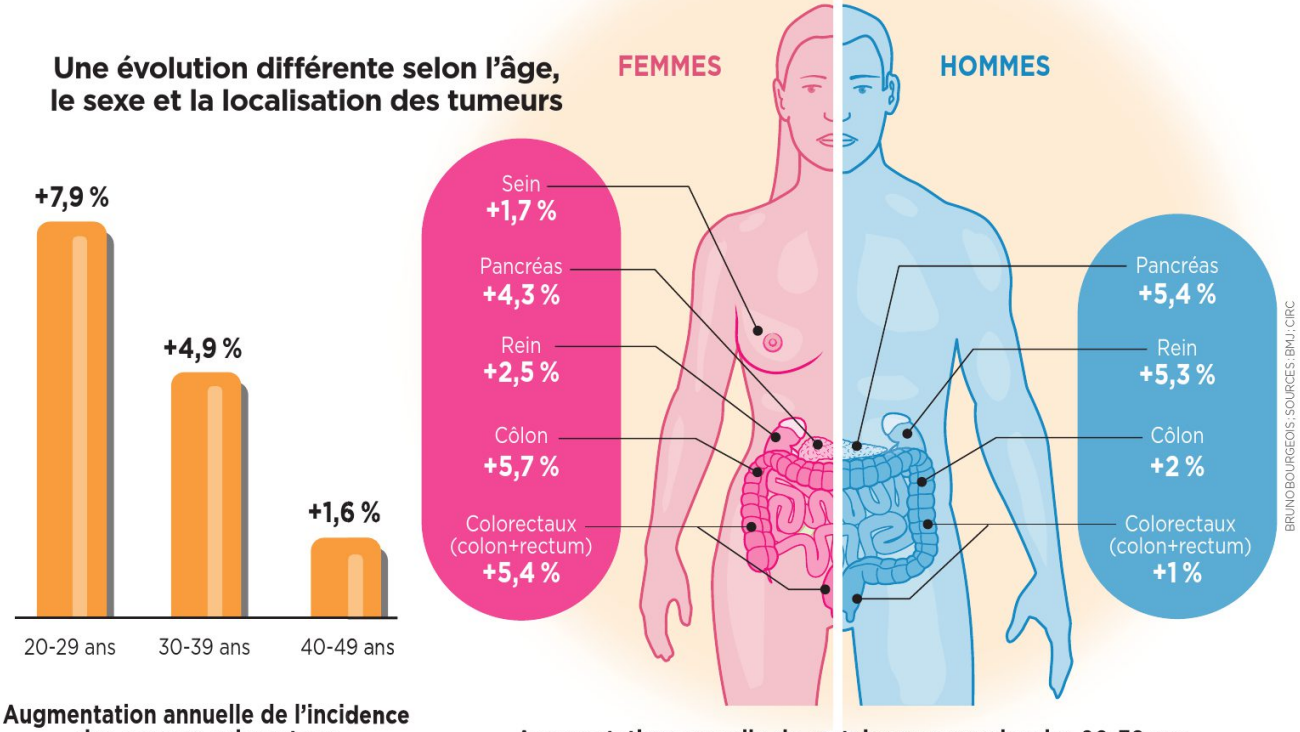
L'exposition aux pesticides pourrait jouer un rôle dans l'apparition du cancer du pancréas (cellules cancéreuses pancréatiques vues au microscope).

« L'augmentation est réelle, mais il s'agit plutôt d'un phénomène qui émerge dans le cadre d'une augmentation générale de l'incidence du cancer dans toutes les tranches d'âge », résume Luís Carlos Lopes Júnior, chercheur associé à l'université fédérale d'Espírito Santo (Brésil). Or, jusqu'ici, les cancers étaient considérés comme des maladies liées au vieillissement, majoritairement attribuées à l'apparition de mutations génétiques, sporadiques ou héréditaires, menant à une prolifération excessive des cellules. *« Le premier facteur de risque reste l'âge,* rappelle Cyrille Delpierre, épidémiologiste à l'université de Toulouse. *Plus on vit longtemps, plus nos cellules ont de risques de subir des mutations qui peuvent dégénérer et devenir des cancers. »* Comment dès lors expliquer l'augmentation de l'incidence chez les moins de 50 ans ? Aujourd'hui, cette question n'a pas de réponse définitive.

Des facteurs de risque liés au mode de vie

Des causes dites évitables ont été identifiées à tous les âges : obésité, manque d'activité physique, mauvaise alimentation, consommation d'alcool ou de tabac. *« Ces facteurs, liés à nos modes de vie depuis la fin des années 1950, favorisent une déprogrammation épigénétique »*, explique Giacomo Cavalli, chercheur à l'Institut de génétique humaine de Montpellier. Les modifications épigénétiques agissent dans l'ADN comme des interrupteurs automatiques dans une maison connectée. Elles décident quand et comment chaque appareil (ici, les gènes) s'allume ou s'éteint, en fonction des conditions : alimentation, température, stress, pollution, activité physique, etc.

En touchant des gènes régulateurs de croissance, ces changements épigénétiques peuvent les rendre silencieux ou trop actifs, comme le ferait une mutation. *« Par exemple, si le gène TP53, frein naturel au développement des cellules cancéreuses, est rendu obsolète, l'organisme est amputé d'une défense contre les*



Augmentation annuelle de l'incidence des cancers colorectaux
(entre 2004 et 2016 dans 20 pays européens)

Augmentation annuelle de certains cancers chez les 20-39 ans
(entre 1998 et 2017 en France métropolitaine)

tumeurs, poursuit le généticien. *À l'inverse, s'il est rendu hyperactif, le gène RAS peut entraîner une prolifération anarchique des cellules jusqu'à former une tumeur.* » Il est néanmoins difficile d'attribuer l'augmentation des cancers à ces seuls changements épigénétiques. D'une part, les facteurs de risque sont nombreux et concomitants, d'autre part les cellules touchées peuvent mettre plusieurs décennies à former des tumeurs. *« Quelqu'un diagnostiqué d'un cancer entre 20 et 30 ans peut avoir été exposé [aux facteurs de risque] dès la grossesse,* ajoute Giacomo Cavalli. *Si la mère est exposée, les cellules du fœtus aussi, dont ses gamètes, qui seront transmis à la génération suivante.* » C'est ce qu'on appelle un « effet de cohorte de naissance » : l'ensemble des facteurs de risque subis par une génération dès la vie fœtale peut influencer à long terme le développement métabolique et le risque de cancer.

D'autres causes restent à débusquer

« Ce qui augmente le risque aujourd'hui, ce n'est pas d'avoir 30 ou 40 ans, mais d'être né il y a trente ou quarante ans, à une époque où ces facteurs de risque liés aux modes de vie postindustriels sont apparus », poursuit Cyrille Delpierre. Les Américains nés dans les années 1990 ont par exemple deux fois plus de risque de développer un cancer du côlon, et quatre fois plus de risque de développer un cancer du rectum que ceux nés dans les années 1950.

Toutefois, les experts s'accordent sur ce point : ces facteurs liés au mode de vie ainsi que la hausse du dépistage ne peuvent expliquer à eux seuls l'augmentation de l'incidence des cancers précoces. *« On s'est rendu compte qu'une grande partie de nos patients de moins de 50 ans ne boivent pas d'alcool, ne fument pas, ont une bonne hygiène de vie. On veut leur apporter une réponse »*, lance Cristina Smolenschi, oncologue spécialisée dans les cancers digestifs à l'institut Gustave-Roussy (IGR), à Villejuif. D'autres causes restent donc à débusquer. Parmi les nombreux suspects, la pollution de l'air et l'exposition aux facteurs environnementaux. *« Beaucoup de recherches sont en cours à ce sujet, on sait que les polluants affectent l'épigénétique, mais on*

CNRS

« On sait que les polluants affectent l'épigénétique, mais on ne sait pas encore très bien comment »

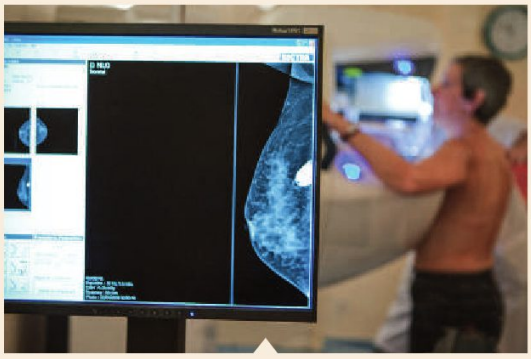
Giacomo Cavalli, chercheur à l'Institut de génétique humaine de Montpellier

ne sait pas encore très bien comment », confirme Giacomo Cavalli.
À l'IGR, Cristina Smolenschi supervise depuis fin 2024 le programme Yoda (Young onset digestive adenocarcinoma), dont l'un des axes de recherche vise à étudier — pour la première fois — la teneur en microplastiques des graisses viscérales des patients de moins de 50 ans atteints de cancers. D'autres scientifiques s'intéressent au microbiome intestinal, certaines toxines bactériennes pouvant endommager l'ADN et favoriser les tumeurs. C'est le cas de la colibactine, une toxine produite par certaines souches d'*Escherichia coli*. Les mutations qu'elle induit sont retrouvées chez environ 10 à 15 % des patients atteints de cancers colorectaux, et dans 50 % des cas chez les malades de moins de 40 ans, selon une étude américaine publiée en 2025 dans *Nature*.

MÉTHODOLOGIE

Comment interpréter les chiffres ?

Attention aux chiffres : les facteurs méthodologiques expliquent en partie les variations de l'incidence de certains cancers. « *Les tendances dépendent parfois des sources de données, des classifications des tumeurs ou des politiques de dépistage* », souligne Anne-Marie Bouvier, médecin épidémiologiste au Registre bourguignon des cancers digestifs. L'étude du *BMJ Oncology*, qui conclut à une augmentation de près de 80 % des cancers chez les moins de 50 ans en trente ans, repose sur des données mondiales solides, mais dont la qualité dépend des registres du cancer des différents pays, parfois soumis à la sous-déclaration et au sous-diagnostic. Le taux d'incidence ajusté sur les facteurs démographiques pour 100 000 habitants reste le meilleur indicateur pour étudier la hausse d'incidence sur une période donnée. En l'utilisant, on remarque que l'augmentation du taux d'incidence décrite par l'étude concerne une grande partie des cancers dépistés. Les auteurs de l'étude le disent eux-mêmes : « *La tendance à la hausse du fardeau des cancers à début précoce reste floue, ce qui pourrait être lié au dépistage précoce et aux expositions précoces* », car plus on dépiste tôt, plus on détecte des cancers dans les tranches d'âges plus jeunes. Ce qui ne signifie pas que l'incidence n'augmente pas par ailleurs.



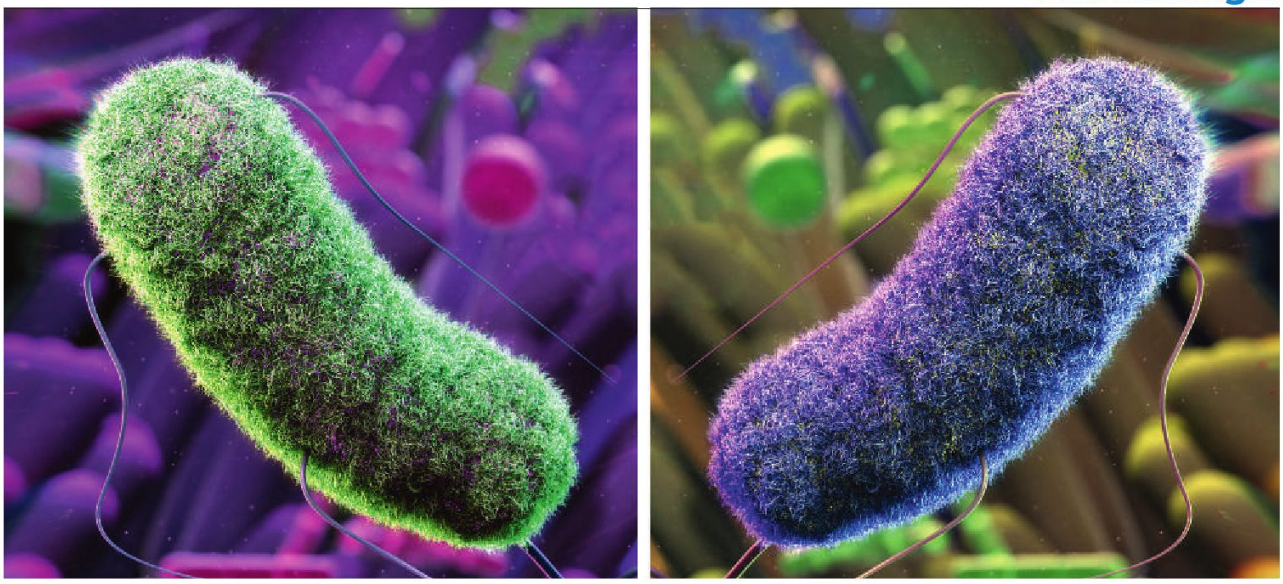
AMELIE BENOIST / IMAGE POINT FR / BSIP

Le dépistage précoce (ici une mammographie) entraîne une hausse des détections de cancers dans des tranches d'âge plus jeunes.

Il est aujourd'hui urgent de trouver des réponses car l'augmentation de l'incidence chez les moins de 50 ans, qui a d'abord touché les pays les plus riches, s'observe progressivement dans des pays à revenus intermédiaires. Ainsi au Brésil, « *une étude sur le cancer du sein chez les femmes de moins de 50 ans a montré que les taux d'incidence dans les grandes villes brésiliennes varient entre 17,9 et 165,5 pour 100 000 personnes dans les groupes d'âge 15-39 ans et 40-49 ans* », précise Luís Carlos Lopes Júnior.

Avancer l'âge du dépistage du cancer colorectal

De plus, les tumeurs d'apparition précoce se révèlent souvent moins sensibles aux traitements standards. Une difficulté qui vient en partie de leur détection tardive. Selon une étude de *Molecular Oncology*, publiée en 2019, 76 % des cancers colorectaux détectés chez les moins de 30 ans le sont à un stade très avancé. « *Chez un trentenaire, des troubles digestifs ne font pas immédiatement penser à un cancer,* déplore Cristina Smolenschi. *Quand les premiers symptômes visibles apparaissent, comme les saignements dans les selles, le cancer est déjà à un stade avancé, plus difficile à prendre en charge.* » Le programme Yoda intègre des recherches pour analyser les signatures génétiques de ces cancers d'apparition précoce, et tenter d'en comprendre les éventuelles spécificités.
En attendant, certains pays ont réduit l'âge du premier dépistage du cancer colorectal, dorénavant à 40 ans au Japon ou à 45 ans aux États-Unis, même sans antécédents familiaux. En France, comme dans la majorité des pays européens, la question d'avancer l'âge du premier dépistage aujourd'hui fixé à 50 ans se pose également. Mais il faudrait déjà augmenter la participation, qui peine à dépasser 30 % pour la tranche 50-74 ans. « *Je vais jusqu'à offrir des kits de dépistage à mes amis,* conclut Hélène. *C'est gratuit, rapide, indolore, et ça peut sauver des vies.* » ■



THOM LEACH / SPL / SUCRE SALÉ

La plupart des molécules qui composent le vivant ont un sens : droit ou gauche. Elles existent parfois sous les deux formes mais, en général, une seule est présente dans la nature.

Bactéries miroirs : le vivant face à son double

La recherche s'intensifie autour de la création de biomolécules dans une forme inverse à celle observée dans la nature. Des biologistes s'alarment du risque potentiel pour l'humain et les écosystèmes si elles étaient lâchées dans la nature. D'autres tempèrent cette menace. Décryptage.

L'alerte est donnée. « *Une fois libérées, les bactéries miroirs invasives pourraient se propager rapidement par les animaux et les humains infectés, ainsi que par le transport de marchandises et de produits contaminés. […] Elles pourraient causer une infection potentiellement mortelle.* » Ce scénario n'est pas le fruit de l'imagination d'un romancier de science-fiction, mais l'extrait d'un rapport de 300 pages, accompagné d'un article publié dans la revue *Science* fin 2024. 38 chimistes et biologistes s'y inquiétaient de la possibilité de créer de toutes pièces une bactérie ravageuse qui constituerait « *un risque sans précédent* » pour les animaux et les plantes. Ce rapport réunissait tous les ingrédients d'un scénario classique de récit d'anticipation : l'hybris qui conduit des biologistes à créer *in vitro* un organisme complètement nouveau, une fuite de laboratoire, l'absence de traitement adapté, l'extinction de plusieurs espèces… Et, en conclusion, l'appel à un moratoire sur la création d'une telle bactérie. En juin, l'Institut Pasteur accueillait la première conférence internationale sur la vie miroir, afin d'examiner les risques qu'elle pourrait représenter. David Bikard, microbiologiste à l'Institut Pasteur, y concluait : « *Nous sommes incapables de créer la vie miroir aujourd'hui, et l'objectif est que nous en soyons toujours incapables dans trente ans afin de s'assurer que chacun soit en sécurité.* » Peu rassurant !

Mais qu'est-ce que cette « bactérie miroir » ? Il s'agit d'un hypothétique organisme artificiel qui fonctionnerait à l'envers du reste du vivant et dont la conception pourrait aboutir d'ici dix à trente ans, selon les chercheurs. Pour bien comprendre, il faut descendre à l'échelle moléculaire. La plupart des molécules ont un sens, elles sont « droites » ou ▸

« gauches », tout comme nos mains, similaires mais non superposables à leur image dans un miroir *(voir l'infographie ci-contre)*. Cette propriété, découverte par Louis Pasteur, est appelée chiralité, et concerne la grande majorité des molécules qui constituent le vivant. *« Certaines sont présentes sous leurs deux formes dans la nature, mais d'autres n'existent que dans une des deux versions. Ainsi, l'hélice d'ADN tourne toujours à droite, quand les acides aminés* [les briques de construction des protéines] *n'existent que sous leur forme gauche »*, illustre Michael Kay, professeur à l'université de l'Utah (États-Unis) et coauteur du rapport technique sur les bactéries miroirs.

À partir de la version naturelle d'une molécule, droite par exemple, les scientifiques peuvent imaginer et parfois concevoir en laboratoire sa symétrique, ou « énantiomère ». Parfois, une molécule n'a pas le même effet selon qu'elle est sous sa forme droite ou gauche. Prenez la molécule du limonène, par exemple. Sa forme droite donne l'odeur de l'orange, tandis que la gauche, celle du citron. En pharmacologie également, les effets peuvent différer selon la forme : cette nuance a été découverte dans les années 1950 avec le thalidomide, un médicament prescrit chez les femmes enceintes à partir des années 1950 dont l'une des formes a causé des malformations congénitales *(lire l'encadré ci-dessous)*.

Quelques médicaments aujourd'hui approuvés pour un usage chez l'humain reposent d'ailleurs uniquement sur ces inverses artificiels. Par exemple, l'ételcalcétide, un traitement contre l'excès d'hormone parathyroïdienne, s'appuie sur un peptide miroir. D'autres traitements fondés sur ce même principe sont en cours d'essais cliniques, notamment pour lutter contre le VIH. Quel avantage le miroir de molécules naturelles confère-t-il à ces thérapeutiques ? *« Notre système immunitaire les reconnaît beaucoup moins bien, les molécules miroirs ont donc le potentiel de se maintenir dans l'organisme plus longtemps que les autres. Or, c'est un des défis majeurs dans le développement de médicaments : la durée d'action »*, explique Michael Kay.

« On sait aujourd'hui reproduire le miroir de certaines molécules nécessaires à la vie d'une cellule », affirme le biologiste. C'est ainsi le cas de certaines protéines, mais aussi, depuis 2021, des macromolécules essentielles telles que l'ARN ou l'ADN. D'où la question des chercheurs : combien de temps reste-t-il avant qu'on ne développe une nouvelle forme de vie entièrement constituée de molécules à la chiralité inverse de celle que l'on trouve dans la nature ? Une vie qui reposerait sur un ADN gauche, des acides aminés droits, une membrane de lipides droits et de sucres gauches, etc.

Une évaluation qui ne fait pas consensus

« Une bactérie miroir pourrait servir d'usine à molécules miroirs pour des traitements, assure Michael Kay. *Ce système serait beaucoup plus efficace que la synthèse chimique utilisée aujourd'hui. On passerait à l'échelle supérieure dans la production de ces médicaments. Mais après évaluation des risques, nous voudrions que soit proscrite la création d'un tel organisme. »* Dans le rapport technique publié par les chercheurs, la futuriste bactérie miroir est présentée comme une menace sans précédent. Ces organismes prolifèreraient dans

PHARMACOLOGIE

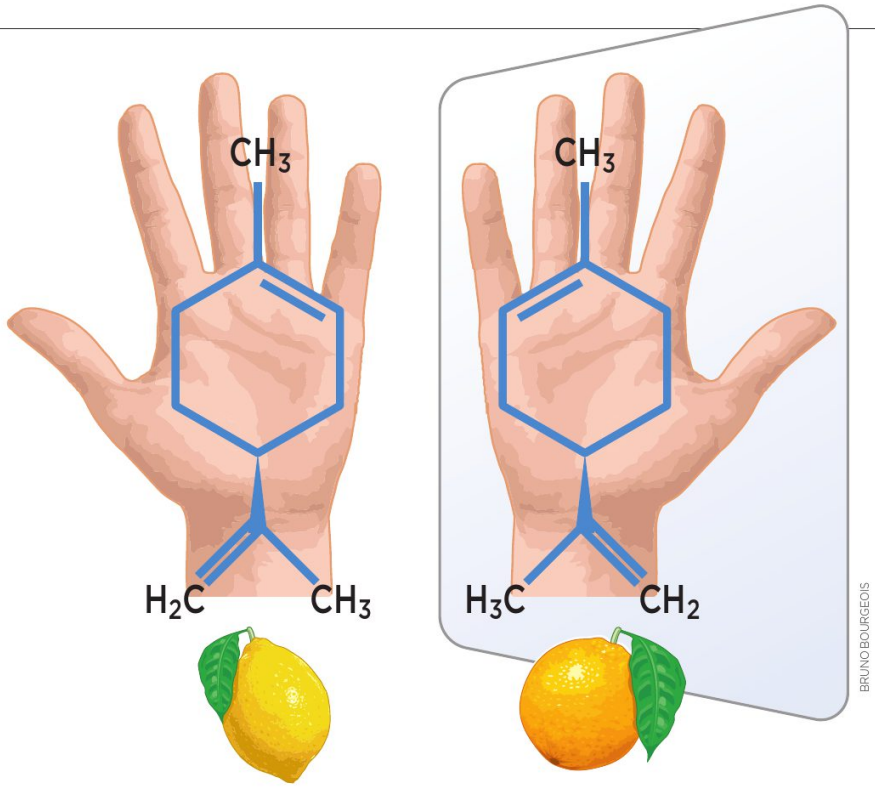
Le scandale sanitaire du thalidomide

Dans les années 1950, le thalidomide est prescrit comme médicament contre les nausées chez les femmes enceintes. Mais ce traitement, vendu sous forme d'un mélange de deux énantiomères, molécules miroirs, est à l'origine d'un véritable scandale sanitaire. Si la molécule « droite » agit effectivement sur les nausées, les chercheurs s'aperçoivent, après sa mise sur le marché, que l'autre version provoque de graves malformations congénitales, notamment l'absence ou la déformation des membres chez les nouveau-nés.

SJÖBERG BILDBYRÅ/ ULLSTEIN BILD/ GETTY IMAGES

Prescrit aux femmes enceintes, le médicament a entraîné des malformations chez les nouveau-nés.

On estime que 15 000 fœtus ont été affectés par ce traitement. Ce drame a révélé l'importance cruciale de la chiralité en pharmacologie. Retiré du marché en 1961, il est à l'origine de la création du centre mondial de pharmacovigilance, basé à Uppsala, en Suède. Aujourd'hui, le thalidomide est de nouveau utilisé, avec une surveillance stricte, dans le traitement de certaines maladies graves, notamment des tumeurs.

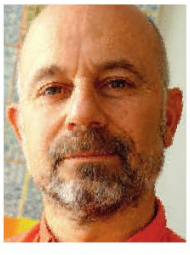


La chiralité, c'est quoi ?

À l'instar de la main gauche et de la main droite, deux molécules chirales sont images l'une de l'autre dans un miroir, mais non superposables. C'est le cas du limonène. Sa forme gauche ((S)-limonène) véhicule le parfum du citron tandis que la droite ((R)-limonène) diffuse celui de l'orange.

tous les écosystèmes sans réel obstacle en raison de leur chiralité. Le système immunitaire lui-même serait inapte à les reconnaître et donc à réagir. *« Nous la considérons comme l'espèce envahissante ultime »*, ajoutent-ils.

Cette évaluation est cependant loin de faire consensus. Pour d'autres chercheurs, l'alerte est très prématurée. *« On est encore très loin de créer des bactéries miroirs,* tempère ainsi François Graner, directeur de recherche CNRS à l'université Paris-Diderot. *On ne sait même pas créer les indispensables et complexes ribosomes* [les fabriques à protéines] *qui sont au cœur du fonctionnement d'une cellule. De plus, l'assemblage constitue un défi monumental qui est encore loin d'être maîtrisé pour des cellules classiques, alors pour des cellules miroirs… »* David Perrin, professeur et chercheur en chimie bio-organique à l'université de la Colombie-Britannique (Canada), va encore plus loin : *« Selon moi, ce rapport est un moyen d'attirer l'attention, et donc les subventions, sur leurs travaux en parallèle. Les auteurs omettent de nombreux éléments dans leur raisonnement. Or, ces derniers sont capitaux et modifient radicalement le tableau qu'ils dépeignent. Il devient tout de suite beaucoup moins mystérieux. »*


MARIE BOVE

« Il y a des menaces bien réelles aujourd'hui et qui ne reposent pas sur des suppositions ou des hypothèses alarmistes »

François Graner, directeur de recherche CNRS à l'université Paris-Diderot

Prévenir avant qu'il ne soit trop tard

Le chercheur a répertorié plusieurs incohérences en réponse à l'article, sur le site de *Science*. Ainsi, quand Michael Kay avance *« qu'aucune défense naturelle ne serait efficace contre les bactéries miroirs »*, David Perrin répond qu'il existe pourtant bien une voie immunitaire sensible à la chiralité inversée. Il pondère également le risque qu'elles pourraient représenter : *« Les bactéries dangereuses ne le sont que parce qu'elles possèdent des facteurs de virulence. Nous ne savons pas les créer en miroir. Dès lors, une exposition à une bactérie miroir simple, c'est comme si vous mettiez du yaourt sur une plaie : oui, il contient des bactéries, mais vous ne tomberez pas malade pour autant. »* Enfin, il relève l'existence de plusieurs traitements potentiellement efficaces contre ces organismes, notamment deux antibiotiques indépendants de toute chiralité, comme la ciprofloxacine, qui fonctionneraient donc pour des molécules droites et gauches.

« Il y a des menaces bien réelles aujourd'hui et qui ne reposent pas sur des suppositions ou des hypothèses alarmistes, s'agace François Graner. *On sait à quel point un virus peut immobiliser le monde entier. Et des laboratoires travaillent actuellement à augmenter la dangerosité de virus comme le Sras-CoV-2, ou pire. Notamment les Mers, dont la létalité peut atteindre 35 %. Il faut s'occuper de l'incendie en cours, et ne pas détourner notre attention de ce qui est en train de se produire. »* Mais pour Michael Kay, l'un n'empêche pas l'autre : *« Nous pensons qu'il est bien plus sûr de prévenir tant que la bactérie n'existe pas, car après sa conception il sera trop tard. »* ■

Marie Parra

Le corps humain ausculté à la loupe

Notre connaissance du corps humain ne cesse de progresser et les recherches récentes éclairent d'un jour nouveau les questions les plus simples. Notre collaborateur Nicolas Gutierrez C. a sélectionné 50 mystères résolus ces cinq dernières années. Des textes accompagnés par les explications de personnages dessinés familiers adaptés par Olivier Lascar, rédacteur en chef digital de « Sciences et Avenir ». Extraits.

50 petits et grands mystères du corps humain, Nicolas Gutierrez C., Olivier Lascar (dessins), Vuibert, 208 p., 23 €. Parution le 2 octobre.

Effet yo-yo sur la balance : la mémoire du corps coupable ?

Avez-vous déjà essayé de perdre du poids rapidement ? Si oui, vous avez sûrement expérimenté le fameux effet yo-yo, qui nous fait reprendre tout le poids perdu en deux temps trois mouvements. Rassurez-vous, cela nous arrive à tous… et ce n'est pas vraiment de notre faute. Ça n'a rien à voir avec un quelconque manque de volonté ou d'amour-propre : c'est notre corps lui-même qui, en refusant de coopérer, finit par saboter nos efforts.

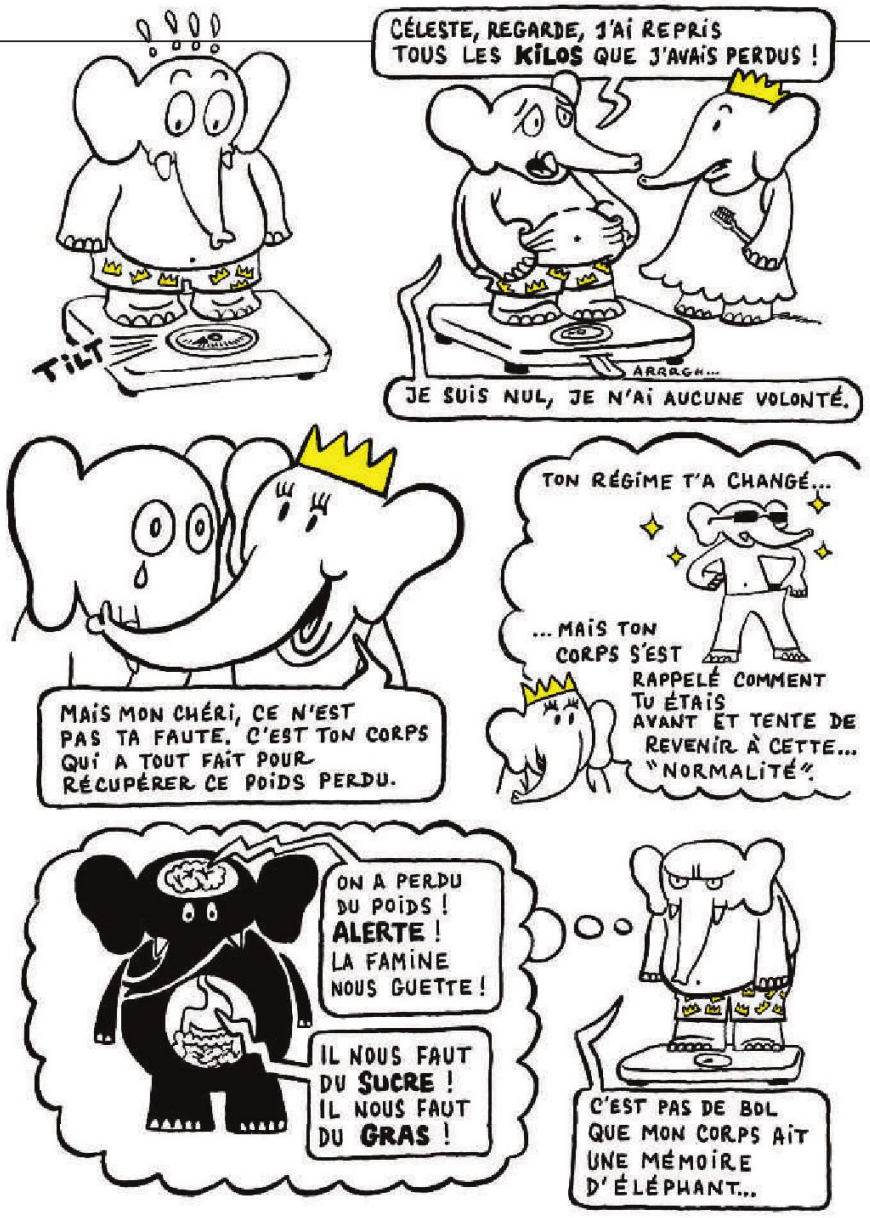
Nos cellules n'ont aucune idée des normes de beauté en vigueur, elles ne savent même pas quel devrait être notre poids idéal, en fonction de notre âge et de notre physionomie. Pour notre corps, notre poids habituel est notre poids normal, point. Et tout écart de cette norme déclenche une multitude d'alarmes.

La première d'entre elles sonne dans le cerveau. Bien que nous soyons conscients de notre volonté d'affiner notre silhouette, une partie de notre cerveau ne reçoit pas la consigne et ne se rend pas compte que cette diminution en nutriments est volontaire. Des millions d'années d'évolution ont mis en place un système d'alerte qui s'active lorsque nous perdons du poids. Par le passé, tout amaigrissement rapide était causé par une famine ou une maladie – pas vraiment comparable à une envie de pouvoir rentrer dans nos vêtements de jeunesse. L'urgence était donc de refaire les stocks le plus rapidement possible, en prévision de la prochaine difficulté. L'obsession pour la reprise du poids concerne particulièrement un groupe de neurones localisés dans l'hypothalamus. Cette structure du système nerveux, située au centre du crâne, est connue pour son rôle dans plusieurs processus métaboliques, y compris le contrôle de la faim. En mai 2023, un groupe de recherche de l'institut Max-Planck, en Allemagne, a mis en évidence que ces neurones s'activent après un amaigrissement rapide et incitent le cerveau à vouloir manger davantage. Selon leur étude, publiée dans *Cell Metabolism*, leur activation augmente l'appétit et réduit la consommation énergétique du corps, pour lui permettre de refaire ses stocks de graisse rapidement.

En d'autres termes, alors qu'on continue à faire attention à ce qu'on mange, notre cerveau joue contre nous : il nous incite à manger davantage, et ce qu'on mangera sera plus rapidement transformé en graisse… Dur de cohabiter avec de tels traîtres !

Et le cerveau n'est pas seul à nous faire ce coup bas. Il est aidé par notre tissu adipeux, lui aussi nostalgique de notre ancien état physiologique. En clair, l'excès de poids entraîne tout un tas de modifications physiologiques, et notamment il change la programmation épigénétique des adipocytes, les cellules qui stockent les graisses et sont majoritaires dans le tissu adipeux. Chez les personnes obèses, l'expression de certains gènes y est dérégulée, particulièrement ceux impliqués dans le métabolisme, dont l'activité baisse. Résultat, les cellules consomment plus de glucose et d'acides gras.

Une étude publiée en novembre 2024 dans *Nature* par des chercheurs de l'École



polytechnique fédérale de Zurich (Suisse) montre que cette dérégulation épigénétique persiste même après la perte de poids. En somme, bien que la personne ne soit plus obèse, ses cellules continuent d'agir comme si elle l'était. Qu'est-ce qu'elles sont têtues, ces cellules !"

Peaux à moustiques : les secrets d'une irrésistible attraction

Les moustiques ont trois méthodes, plus ou moins sélectives, pour nous pister. Selon une étude parue en août 2024 dans le journal *Nature*, ces pique-assiettes volants nous reconnaissent d'abord à cause du dioxyde de carbone (CO_2) que nous expirons, qu'ils peuvent détecter à une dizaine de mètres de distance. Cela leur permet de s'orienter vers leur cible, et, une fois qu'ils sont tout proches, à quelques dizaines de centimètres, d'autres indices les aident à affiner leur direction : le rayonnement infrarouge que notre corps dégage naturellement et, enfin, l'odeur de notre transpiration.

Pourtant, nous produisons tous du CO_2, des infrarouges et de la transpiration. Alors, pourquoi ces satanés moustiques s'entêtent-ils à tourmenter toujours les mêmes personnes ? Ce n'est pas très équitable, surtout quand on fait partie des persécutés. Une étude publiée en octobre 2022 dans *Cell* a enfin trouvé la cause à cette injustice : c'est le gras ! (…) Les moustiques se fichent de nos bourrelets ou de notre éventuelle passion pour les fast-foods. Ce qui les intéresse, ce sont les acides gras qui se trouvent sur notre peau et qu'ils peuvent sentir dans notre sueur.

Pour le découvrir, les chercheurs de l'université Rockefeller de New York ont rassemblé une soixantaine de participants et leur ont demandé de couvrir leurs avant-bras de bas en nylon pendant six heures d'affilée. Pourquoi ? Pour capturer toutes les molécules à la surface de leur peau, susceptibles d'influencer l'odeur corporelle. Parmi ces bas usagés présentés aux moustiques, les chercheurs pouvaient déterminer lesquels avaient leur préférence, lesquels les attiraient le plus. (…) Cette expérience a mis en évidence le caractère très sélectif de ces insectes : les échantillons de certains participants attiraient jusqu'à 100 fois plus de moustiques que ceux qui en appâtaient le moins ! (…)

Les acides gras dont sont fans les moustiques sont probablement produits par des bactéries sur notre peau, qui font partie du microbiote cutané — l'ensemble des microbes qui tapissent la peau. Ces derniers mangent notre sébum, une pellicule grasse que notre épiderme produit pour se protéger du dessèchement, et, à partir de celui-ci, ils fabriquent un grand nombre de molécules, dont des acides gras. C'est donc peut-être à cause de votre microbiote que vous êtes particulièrement apprécié par les moustiques.

Et c'est peut-être aussi votre microbiote qui pourrait vous en débarrasser ! Les chercheurs pensent qu'il serait possible de protéger les peaux à moustiques grâce au microbiote de quelqu'un qui produit peu de ces acides gras, et qui est donc peu attrayant pour ces bourdonnants insectes." ■

Viva la pasta !

Qu'elles soient sèches ou fraîches, les pâtes sont dotées de nombreux atouts nutritionnels, à condition toutefois de bien les choisir.

À la carbonara, *alle vongole* ou au pesto… Les pâtes restent une valeur sûre en cuisine. 70 % des Français en consomment au moins une fois par semaine, avec une préférence pour les spaghettis et les coquillettes (1). Le goût, la simplicité et le prix modéré de ce plat convivial participent à son succès.

Plusieurs étapes de pastification

Leur préparation consiste à mélanger de la semoule de blé dur avec de l'eau et parfois des œufs (il en faut au minimum 140 g par kilo de semoule de blé pour avoir l'autorisation de mentionner « pâtes aux œufs »). Une fois malaxée et pétrie, cette pâte est extrudée par **tréfilage** ou amincie en une feuille (laminage) jusqu'à atteindre l'épaisseur souhaitée, avant d'être découpée à l'emporte-pièce ou sectionnée en lamelles (tagliatelles, lasagnes, etc.). Les pâtes obtenues sont ensuite séchées (70 à 100 °C) afin que le taux d'humidité passe de 32 à 25 % pour les pâtes fraîches et à 12 % pour les sèches.

8,7 kg

de pâtes sont consommés par habitant et par an en France, contre 23,3 kg en Italie.

SOURCE : SYNDICAT DES INDUSTRIELS FABRICANTS DE PÂTES ALIMENTAIRES DE FRANCE (SIFPAF), 2024.

Une bonne source de glucides

Avec leurs 70 % de glucides, les pâtes raffinées représentent évidemment une bonne source d'énergie. C'est plus que le riz complet (32 %) ou le pain intégral (44 %). Il s'agit principalement d'amidon (amylose et amylopectine), dont une fraction est de l'amidon résistant. Celui-ci n'est pas digéré mais fermenté dans le côlon par le microbiote intestinal (2). Les pâtes fournissent aussi des fibres (3,5 à 4 % pour les spaghettis et les penne), ce qui améliore le

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

TRÉFILAGE Cette étape consiste à faire passer la pâte dans un moule en bronze (*trafilate al bronzo*) ou en Téflon pour lui donner une forme particulière.

INDICE GLYCÉMIQUE (IG) Critère de classement des aliments contenant des glucides à partir de leurs effets sur la glycémie. Un aliment à IG élevé provoque un pic du taux de sucre dans le sang suivi d'une baisse rapide.

GLUTEN Composé de protéines (prolamines et gluténines) présentes dans les céréales (blé, orge, seigle, etc.), il est responsable de la maladie cœliaque ou d'une sensibilité intestinale.

sentiment de satiété (3). Mais, contrairement aux idées reçues, avec 120 kcal/100 g, la consommation de pâtes ne contribue pas à une prise de poids dans le cadre d'une alimentation saine (4).

Des pâtes complètes plutôt que blanches

Ayant conservé la totalité ou une partie de l'enveloppe du grain de blé, les pâtes complètes, sèches ou fraîches, sont plus riches en vitamines du groupe B, bonnes pour la fonction cérébrale et en minéraux (magnésium, potassium) que celles raffinées. Leur **indice glycémique** (IG) est bien plus faible (35 pour les complètes contre 70 pour les blanches), ce qui limite le pic d'insuline et le stockage des graisses.

Par ailleurs, la structure compacte et dense des pâtes ainsi que le réseau de **gluten** entourant l'amidon jouent sur l'hydrolyse de l'amidon et, par conséquent, sur la glycémie après le repas. Ainsi, la consommation de penne ou de spaghettis entraînerait une glycémie après le repas respectivement de 22 à 40 % plus faible que la consommation de couscous de semoule de blé dur (5).

Des alternatives au gluten

Les pâtes sont une source non négligeable de protéines (environ 12 %), mais ces dernières sont pauvres en certains acides aminés indispensables, comme la lysine et la thréonine.

De plus, comme tout aliment contenant du gluten, les pâtes peuvent provoquer des intolérances plus ou moins sévères chez certains individus. Comme ceux atteints de la maladie cœliaque, une pathologie intestinale chronique et auto-immune, ou ceux souffrant d'une sensibilité intestinale au gluten, qui peuvent alors se tourner vers les pâtes à base de farine de riz, de quinoa, de sarrasin ou de lentilles corail. Toutefois, l'incorporation de légumineuses dans une pâte alimentaire semble, au-delà d'un certain pourcentage (environ 30 %), modifier la structure finale de la pâte, altérant leur texture (plus farineuse) et leurs qualités culinaires (6).

Parmesan ou emmental ?

Tous deux sont en fait similaires sur le plan nutritionnel. Une cuillère à soupe (15 g) de parmesan ou d'emmental râpé apporte 150 mg de calcium, soit près de 7 % des besoins journaliers d'un adulte. Parmesan et emmental fournissent aussi du phosphore (94 mg/15 g), qui, avec le calcium, participe à la structure de l'os. Il est de plus un composant essentiel des membranes cellulaires et joue un rôle important dans la fabrication de l'adénosine triphosphate (ATP), notre principale source d'énergie.

Ces fromages à pâte dure apportent également des protéines (28 à 31 g/100 g), mais ils restent riches en acides gras saturés (environ 20 g/100 g) (7). Les sauces qui accompagnent les pâtes peuvent aussi être riches en lipides. Exemple avec le pesto *alla genovese* de la marque Saclà, qui en affiche 36 g pour 100 g. On lui préférera une sauce tomate « maison » riche en lycopène, un puissant antioxydant. ■

Sylvie Boistard

CÉCILE SALIFOU Diététicienne-nutritionniste à Sarreguemines (57)

Des pâtes aux légumineuses plutôt qu'aux légumes

« Les pâtes aux légumes secs (lentilles, pois cassés, pois chiches, etc.) ont un réel intérêt nutritionnel par leur apport en protéines (25 %), en fibres et en minéraux (fer, magnésium). Elles peuvent remplacer une portion de légumineuses à condition de contenir 100 % de farine de légumes secs. Attention donc à celles qui affichent 80 % de farine de blé et seulement 20 % de lentilles. Les pâtes aux légumes sont, elles, peu intéressantes car elles comportent seulement 2 à 5 % de légumes, avec souvent des colorants, des conservateurs, des agents de texture et des sucres ajoutés. »

(1) Sondage Hello fresh mené auprès de 1500 personnes, 2022.

(2) Characterization of Fresh Pasta Made of Common and High-Amylose Wheat Flour Mixtures, Cimini A. et al. *Foods*, 2022.

(3) Glycemic Index Values of Pasta Products: An Overview, Di Pede G. et al, *Foods*, 2021.

(4) Impact of Pasta Intake on Body Weight and Body Composition: A Technical Review, Sanders L. M. et al. *Nutrients*, 2023.

(5) Pasta Structure Affects Mastication, Bolus Properties, and Postprandial Glucose and Insulin Metabolism in Healthy Adults, Vanhatalo S. et al, *The Journal of nutrition*, 2022.

(6) La structure des pâtes influence-t-elle leurs propriétés nutritionnelles ? Laleg K. et al, *Cahiers de nutrition et de diététique*, 2019.

(7) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

CHARLOTTE FAUVE

Des bénévoles yupiit participent aux fouilles de Nunalleq, le village abandonné au XVIIe siècle par leurs ancêtres, sur le bord de la mer de Béring, et enseveli dans la tourbe. Ben Foster, l'un des volontaires, vient de mettre au jour les restes d'un labret, une parure faciale en bois.

Alaska

Fouilles d'urgence avant fonte des glaces

Au sud-ouest de l'Alaska, le changement climatique bouleverse la vie du peuple yup'ik : l'élévation du niveau de la mer et la fonte du permafrost vont détruire ses vestiges archéologiques enfouis depuis plus de trois siècles. Une campagne de fouilles récente a permis de sauver des masques de chamans, des aiguilles et des poteries bien conservés dans la tourbe.

Par Marine Benoit

Dans la langue des Yupiit (Yup'ik au singulier), peuple qui occupe principalement l'ouest de l'Alaska (États-Unis), le long de la côte de la mer de Béring et dans la région du delta des fleuves Yukon et Kuskokwim, il existe un terme pour décrire la façon dont le monde s'effrite sous les effets du réchauffement climatique : *usteq*. L'effritement, l'effondrement en français ou, plus poétiquement, l'« usure du monde ». La journaliste Charlotte Fauve et l'archéologue spécialiste de l'Arctique américain Claire Houmard ont choisi d'en faire le titre d'un livre écrit à quatre mains, *Alaska : L'usure du monde* (Seuil, mai 2025), émouvant journal de bord de la fouille archéologique de sauvetage à laquelle elles ont participé, dans un village côtier au sud-ouest de l'Alaska, durant les étés 2023 et 2024. Quinhagak compte parmi les agglomérations les plus pauvres de l'Alaska. Il est peut-être aussi l'un des endroits du monde où les effets destructeurs de l'élévation du niveau de la mer et de la fonte du permafrost se font le plus criants. Il a suffi de moins de deux décennies pour que ses 750 habitants voient leur terre grignotée par la mer et leur mémoire lessivée par les vagues. D'ici à cinq ans maximum, ils devront quitter leurs maisons et emporter leurs biens vers un nouveau terrain plus en retrait de la mer — un terrain qu'ils ne connaissent pas aussi bien

et qu'ils devront apprendre à dompter. Ils ne peuvent en revanche se résigner à laisser disparaître leur histoire dans l'écume.

Aussi, à la fin des années 2000, le conseil des Anciens a pris la décision de faire appel à des archéologues pour extirper de la tourbe, sol omniprésent dans la région, ce qu'il reste de leur vieux village enseveli. Portant le nom de Nunalleq et situé à quelques kilomètres de l'actuel bourg de Quinhagak, celui-ci a été abandonné précipitamment à la fin du XVIIe siècle, probablement à la suite des représailles d'un groupe voisin venu l'attaquer. *« Il y a eu un élément déclencheur,* raconte Charlotte Fauve. *En été, Quinhagak est un lieu fréquenté par des pêcheurs sportifs du monde entier qui viennent y capturer et relâcher des saumons, nombreux dans les rivières alentour. À ces touristes, les Yupiit tentent d'échanger ou de vendre des objets locaux comme des bijoux en perles ou en os, des porte-clés en peau de phoque ou des griffes d'ours. »*

JENNILEE MARIGOMEN

Sculpté dans du bois flotté, ce masque de chaman a été découvert à Nunalleq en 2023. Ces objets rituels étaient créés selon une forme particulière, souvent animale, à la suite des rêves faits par le chaman qui, seul, en avait la possession.

Des cheveux humains comme s'ils dataient d'hier

Un jour, ce n'est pas un de ces souvenirs qui a été proposé par un habitant à un pêcheur du dimanche venu d'une grande ville américaine, mais un très vieux masque yup'ik recraché par la mer. *« Le fait qu'un tel objet parte sur le marché noir est un drame pour les Yupiit, qui estiment encore aujourd'hui que ces masques renferment l'âme de leurs ancêtres »*, poursuit Charlotte Fauve.

Sculptés dans du bois flotté, ces étranges visages appartenaient aux chamans d'autrefois, qui leur donnaient la forme des animaux qui leur étaient apparus en rêve. *« Le gel et la tourbe ont permis de parfaitement les conserver »*, explique Claire Houmard.

Parce que ce milieu est pauvre en oxygène et qu'il est acide, inhibant l'activité des bactéries et champignons décomposeurs, les vestiges organiques qui y sont enfouis depuis plus de trois siècles sont intacts. *« On retrouve des figurines en bois, des vanneries, des objets en cuir ou en os, et même des cheveux humains comme s'ils dataient d'hier »*, énumère l'archéologue. Un jour, Charlotte Fauve, qui a elle aussi participé aux fouilles dans le cadre de son reportage, a mis les doigts sur le pelage blanchâtre d'un chien. *« Parfois, ce qui sort de la terre nous donne la nausée »*, confie-t-elle. La tourbe peut être vue comme l'enveloppe d'une capsule temporelle dans laquelle la vie quotidienne des occupants de Nunalleq a été figée. *« Les archéologues, essentiellement des femmes, ont appris à s'y retrouver dans leur vie passée à l'aide d'indices infimes. Elles discernent le dedans du dehors des anciennes habitations à la sciure de bois du sol des maisons, foulée à en devenir dure, ou aux sentiers de planches qui reliaient les maisons les unes aux autres et permettaient de traverser le village à pied*

MIGRATIONS

Béring, le détroit de l'humanité

Le consensus scientifique actuel sur le détroit de Béring veut que ce passage ait joué un rôle crucial dans la migration des populations humaines vers le continent américain durant la préhistoire. Vers la fin de la dernière période glaciaire, il y a environ 26 500 à 11 700 ans, le niveau des mers, bien plus bas, laissait encore apparaître la Béringie, sorte de « pont terrestre » qui reliait la Sibérie à l'Alaska et permettait aux humains, aux animaux et aux plantes de circuler entre l'Asie et l'Amérique du Nord. Ainsi, les premiers peuples seraient arrivés en Alaska entre 16 000 et 13 000 ans avant notre ère (plus tôt, selon certaines découvertes), faisant de cette partie du monde un lieu crucial pour l'archéologie.

JENNILEE MARIGOMEN

CHARLOTTE FAUVE

JENNILEE MARIGOMEN

Quinhagak, l'actuel village yup'ik (en haut, à gauche). La campagne de fouilles de 2024 (en bas, à gauche, Quentin Verriez et Claire Houmard) a notamment mis au jour des cheveux et de la fourrure parfaitement conservés par le froid dans la tourbe (en haut, à droite). De petites poupées en bois, trouvées en 2023, sont aujourd'hui exposées dans le musée local (en bas, à droite).

sec. » Toutes racontent que la tourbe a même emprisonné les odeurs, *« comme un réfrigérateur que l'on n'aurait pas ouvert depuis cinq ans »*, compare Charlotte Fauve. Ainsi, au moment d'arriver sur les niveaux d'occupation, il n'est pas rare qu'une odeur de poisson et de graisse de phoque, autrefois brûlée dans les lampes à huile, n'empeste l'atmosphère.

La plupart des masques, eux, ont été découverts dans les coins des pièces, plus précisément dans des trous de poteau qui leur étaient probablement dédiés pour protéger le logis au moment de sa construction. *« Bon nombre étaient cassés en deux, laissant penser à un acte volontaire après la cérémonie. Le fait de les briser pourrait signifier la libération de l'esprit qui s'y trouvait, possiblement pour le désacraliser avant de l'abandonner »*, détaille Claire Houmard. À partir de 1867, année où l'Alaska a été achetée à la Russie par les États-Unis, les chamans ont progressivement disparu. Les missionnaires chrétiens les ont diabolisés, eux et leurs danses, leurs tambours et leurs drôles de faciès sculptés. Aujourd'hui, si certains jeunes tentent de façonner à nouveau des masques, les Yupiit les plus âgés refusent encore de parler de ces gestes cérémoniels interdits dont certains ont été témoins dans leur enfance ou leur jeunesse. Pour autant, même eux sont soulagés de savoir que les objets rituels de leurs ancêtres sont conservés dans les tiroirs et les vitrines du petit musée local. Car telle était la condition pour que le conseil accepte que des kass'aq — des Blancs — déterrent le passé de la communauté : qu'aucun vestige ne quitte le village.

La tourbe peut être vue comme l'enveloppe d'une capsule temporelle dans laquelle la vie quotidienne des occupants de Nunalleq a été figée

En 2009, l'archéologue Rick Knecht, de l'université d'Aberdeen en Écosse (Royaume-Uni), a ainsi obtenu l'autorisation de creuser avec son équipe internationale. Voilà plus de quinze ans qu'il réveille progressivement, mains dans la boue, les fantômes de Nunalleq. Bientôt à la retraite, il tente de passer à Claire Houmard le flambeau de responsable de fouille. Le septuagénaire à la barbe blanche et aux petites lunettes de vue parle d'une *« tragédie universelle, pas seulement pour les Yupiit, car toute l'huma-*

nité a défilé ici il y a plus de 15 000 ans » *(lire l'encadré p. 78)*. Paradoxalement, il semble qu'à ce carrefour, le temps est passé plus lentement qu'ailleurs. *« Il faut imaginer que lorsque Louis XIV est à Versailles, les Yupiit vivent encore comme au néolithique »*, compare Claire Houmard. Ce décalage, vertige quasi-métaphysique, ce sont encore les objets retrouvés par les archéologues qui le traduisent le mieux. Il y a, par exemple, ces aiguilles en os d'oies sauvages ou de cygnes retrouvées dans la paille des refus de tamis (le foin qui reste de la fouille une fois les gros objets retirés). Mesurant à peine un ou deux millimètres de large, elles servaient à confectionner des vêtements en peau de phoque, de caribou, de cormoran ou de canard, comme des capuchons protégeant le visage du froid. Il y a bien sûr ces poteries utilisées pour la cuisine et les repas, mais aussi ces figurines anthropomorphes taillées dans du bois qui étaient fixées sur des anneaux pour graviter, telles des planètes en orbite, autour des masques. Aujourd'hui, bien sûr, les aiguilles et les casseroles sont en métal et les vêtements en textile synthétique. Mais le quotidien des Yupiit actuels, rythmé par les saisons — la banquise en hiver, quand elle se forme encore, et la toundra spongieuse et infestée de moustiques en été —, n'est pas si différent de celui d'antan. *« Pour le chercheur européen qui intervient en Arctique, la proximité qui existe entre le passé et le présent, même à 500 ans d'intervalle, est parfois troublante,* confesse Claire Houmard. *L'Arctique est l'une des rares régions où l'archéologie paraît encore vivante. »* C'est peut-être cela qui rend la fouille de Nunalleq particulièrement émouvante : les vestiges du passé ont des allures d'allégorie du présent. Le vieux village s'effiloche comme s'efface progressivement la culture des peuples arctiques face au rouleau compresseur de la mondialisation.

CHARLOTTE FAUVE

« Pour le chercheur européen qui intervient en Arctique, la proximité qui existe entre le passé et le présent est parfois troublante »

Claire Houmard, archéologue spécialiste du peuplement en Arctique, professeur junior à l'université de Franche-Comté

Des centaines d'autres « Nunalleq » à sauver

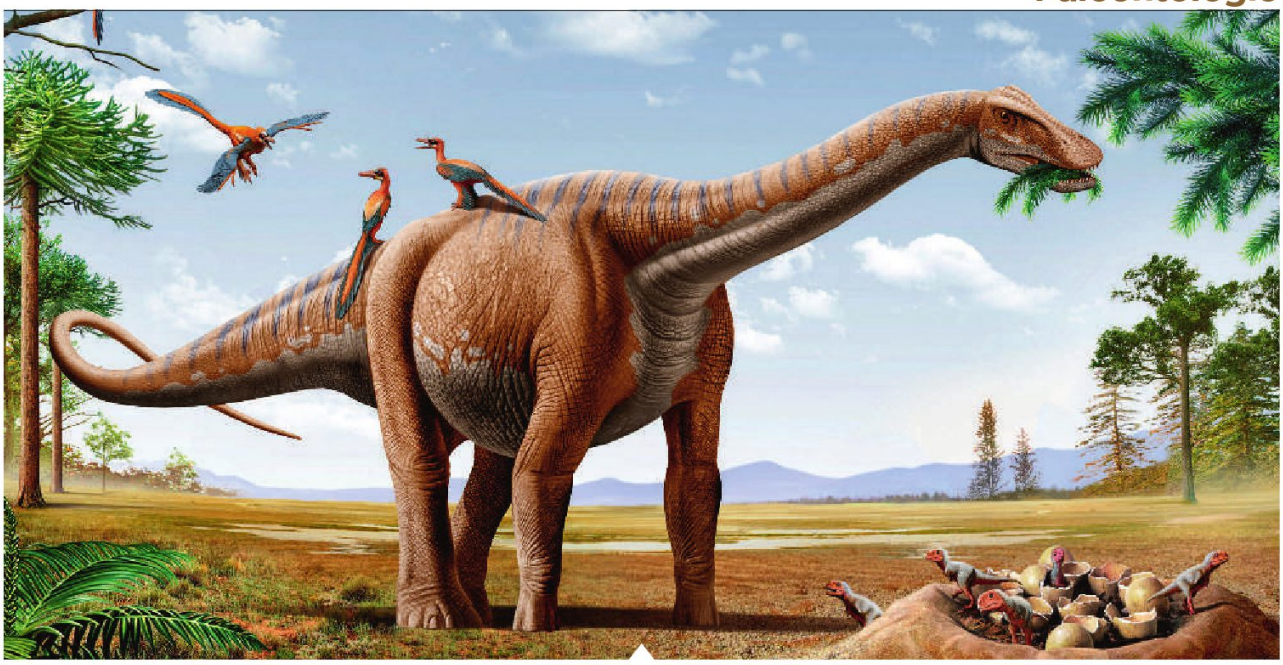
Les jeunes fuient les villages au profit des villes, abandonnant sur place leurs traditions matérielles et orales. *« Difficile, cependant, de vivre coupé du monde à la manière des Anciens,* admet Claire Houmard. *La vie était probablement tout aussi dure en Alaska, avec les nombreux conflits qui ont mis la région à feu et à sang au cours des derniers siècles, mais il y avait probablement une force de vie qui se cherche maintenant parmi la jeunesse. Le dérèglement climatique, la montée des eaux, la fonte du permafrost se mêlent à la partie et compliquent encore la situation. »*

Claire Houmard et les autres spécialistes estiment qu'il pourrait y avoir en Alaska des centaines de « Nunalleq » dormant encore sous la tourbe et la glace. Mais tous se rendent à l'évidence : dans quelques années, la plupart auront disparu. Cet été, Charlotte Fauve est repartie sur le terrain avec plusieurs archéologues pour tenter de repérer des sites à sauver. L'équipe est revenue enthousiaste : des pourparlers ont été entamés avec deux communautés alaskiennes, les Cu'pit et les Inupiat. Bientôt, de nouveaux pans du passé de l'Arctique devraient voir la lumière. ■

POPULATION

Des conditions de vie particulièrement difficiles

Les Yupiit seraient aujourd'hui au nombre de 70 000 à 75 000, particulièrement implantés dans l'ouest de l'Alaska. Longtemps regroupés sous le terme d'Eskimo avec les Inuits, présents, eux, du nord de l'Alaska au Groenland, ils ont la particularité d'avoir été préservés du contact prolongé avec les Occidentaux jusqu'à la fin du XVIII^{e} siècle, les conditions de vie sur leurs terres étant très difficiles. Du temps de Nunalleq, il est d'ailleurs fort probable qu'ils n'aient pas encore rencontré l'« Homme blanc ». Comme l'ensemble des peuples de l'Arctique, les Yupiit ont appris à vivre dans des contrées dépourvues d'arbres et de terres cultivables, subsistant essentiellement grâce à la pêche au saumon, à la chasse au phoque et à la baleine, ainsi qu'à la cueillette de baies. Leurs siècles d'existence loin des Européens furent pourtant loin d'être toujours paisibles : au cours des « Bow and Arrow wars » — dites en français « guerres de l'arc et de la flèche » —, qui consistaient en des raids sanguinaires menés entre différents groupes yupiit (ni les femmes ni les enfants n'y étaient épargnés), de nombreux villages furent décimés. Nunalleq fut abandonné lors d'une de ces guerres.



MOHAMAD HAGHANI/GETTY IMAGES

À la fin du crétacé, la France méridionale faisait partie d'une grande île englobant une part de la péninsule Ibérique. Le paysage formait alors une vaste plaine alluviale où les dinosaures venaient pondre génération après génération.

En Provence, la chasse aux œufs de dinosaures

La réserve naturelle nationale de Sainte-Victoire, qui abrite un gisement d'œufs de dinosaures vieux de 76 millions d'années, va bientôt doubler de surface. Une aubaine pour les paléontologues et les volontaires qui participent à cet étonnant recensement.

Ses ailes découpent le ciel provençal. Un aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) a trouvé refuge autour de la montagne Sainte-Victoire, située à quelques kilomètres d'Aix-en-Provence, dans les Bouches-du-Rhône. Lentement, il survole et veille sur les argiles rouges et les grès du parc départemental de Roques-Hautes, qui abritent l'un des gisements d'œufs de dinosaures les plus riches au monde. *« Ce site vieux de 76 millions d'années est connu depuis 1947 et plusieurs milliers d'œufs ont déjà été recensés. C'est cette densité qui a valu à Roques-Hautes son surnom d'Eggs-en-Provence »*, rappelle Thierry Tortosa, paléontologue et conservateur de la réserve naturelle nationale de Sainte-Victoire. La petite histoire raconte que ce sont les paléontologues américains, émerveillés par la richesse du site (où pourraient reposer des millions d'œufs), qui ont adopté ce surnom dans les années 1960. Il a connu un écho médiatique immédiat et, depuis, il est employé aussi bien par les scientifiques que par les institutions locales.

Créée en 1994, la réserve naturelle nationale va s'étendre vers des terrains militaires qui jouxtent son cœur fossilifère, faisant passer la surface protégée de 139 hectares à 280 hectares. Une démarche qui devrait aboutir d'ici à la fin de l'année pour le côté administratif. Mais pour y avoir accès, les paléontologues devront attendre la dépollution des nouveaux terrains car le site était, autrefois, un champ de tir militaire. *« Nous avons porté ce projet pendant plusieurs années et conduit de longues négociations avec les ministères. Obtenir l'accord des Armées n'a pas été simple, mais cette extension était nécessaire pour préserver les œufs et élargir la réserve. Le département des Bouches-du-Rhône y a mis*

des moyens humains et financiers, sans quoi rien n'aurait été possible », souligne Jean-Marc Perrin, conseiller départemental et délégué à la mise en relief de la paléontologie et de l'archéologie en Provence. *« Cette intégration protège des affleurements encore peu explorés et elle élargit les séries sédimentaires disponibles. Parfois, en quelques centaines de mètres, le micro-paléohabitat ou le contexte de dépôt sédimentaire changent et permettent la découverte de nouvelles espèces* », souligne Thierry Tortosa.

Une campagne de fouilles organisée chaque année

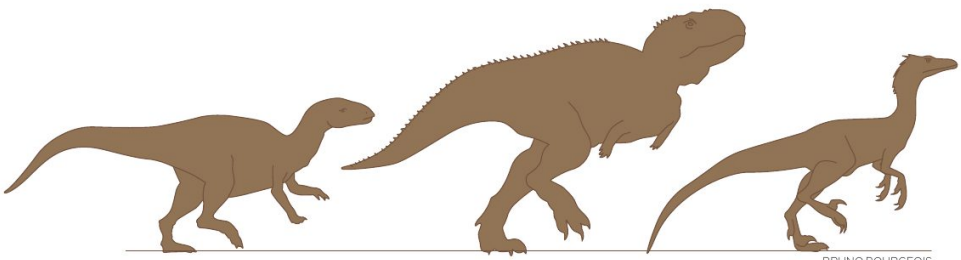
Chaque année, au pied de la montagne chère à Cezanne, l'érosion causée par les pluies, les vents et parfois de façon plus dramatique par les feux de forêt, met à nu de nouvelles coquilles. Dès sa découverte, la Sainte-Victoire a attiré les amateurs de fossiles de tout poil. Et d'Aix à Marseille, il n'est pas rare de tomber sur des œufs prélevés — pas très légalement — et jalousement conservés chez les familles du coin. Les paléontologues, aussi, ont vite compris l'intérêt de l'endroit, qui était à la fin du crétacé *« une partie d'une grande île de la taille de Madagascar, connectée à la péninsule Ibérique. Avec un paysage qui ressemblait à une vaste plaine alluviale, bordée de cours d'eau, où les dinosaures venaient pondre génération après génération* », décrit le paléontologue. De nombreuses équipes internationales y ont travaillé et chaque année Thierry Tortosa coordonne une campagne de fouilles scientifiques de trois semaines. En sus des professionnels, le grand public peut également contribuer à l'étude des coquilles grâce à l'opération « Brossons les œufs » dont la 5e édition a eu lieu fin juin. Plus de 250 volontaires ont répondu présent cette année. Leur mission : explorer une butte fossilifère à l'entrée du champ de tir. Pour ce faire, les participants ont été équipés d'un seau, d'un balai à main et d'un demi-bidon de plastique faisant office de pelle. Les consignes sont claires : brosser délicatement la surface, identifier les fragments de coquilles et appeler un des référents pour qu'il valide la découverte et y accole un numéro qui servira de référence pour les relevés GPS.

Entre 450 et 460 œufs trouvés en une semaine

Lors de notre visite cet été, après plusieurs jours de forte chaleur, le temps, nuageux, est devenu plus clément. Une trentaine de personnes dont plusieurs enfants, réunies par deux ou trois, manient le balai et époussettent le sol. L'ambiance est studieuse mais joyeuse. Très vite, après quelques coups de balai, de nouvelles structures apparaissent. Au début entre petits cailloux, matières végétales et autre débris, on s'y perd un peu. Pas évident pour un œil non expert de distinguer les précieux morceaux de coquilles. Soudain, une exclamation ! C'est un minot qui a découvert un joli fossile : l'ovale d'un œuf, éclaté en dizaines de minuscules fragments, mais dont le dessin est parfaitement reconnaissable. De quoi permettre à ceux qui étaient

ESPÈCES

Trois différents théropodes identifiés



BRUNO BOURGEOIS

PRISCUS
Un gros herbivore de 4 à 6 mètres de long et de 1,80 mètre de hauteur. C'est l'un des premiers dinosaures découverts en France. Il a aussi été trouvé en Espagne, en Italie et en Roumanie.

ARCOVENATOR ESCOTAE
C'est un gros carnivore de la famille des abélisauridés, qui compte dans ses rangs parmi les plus grands carnivores ayant vécu. Celui-là devait mesurer plus de 6 mètres de long.

VARIRAPTOR MECHINORUM
Un petit carnivore de moins de 1,5 mètre de long. La plupart des membres de sa famille sont porteurs de plumes mais pour celui-ci, il n'en a pas encore été retrouvé.

FRANCE LAINÉ

◄ ▲ ►

Dans le parc de Roques-Hautes (Bouches-du-Rhône), l'un des plus grands gisements d'œufs de dinosaures au monde, des bénévoles (à gauche) participent à la fouille (au centre, des bris de coquille). À droite, le chercheur Thierry Tortosa tenant un œuf.

bredouilles jusqu'ici de mieux cibler ce qu'il faut trouver. Et la demi-journée continue de se dérouler ainsi, émaillée de plusieurs autres découvertes. Finalement, après cette semaine de fouille, ce sont entre 450 et 460 œufs qui ont été retrouvés. Un peu moins que le record de l'an dernier (552) mais la moisson est quand même bonne !

À Roques-Hautes, deux ooespèces principales sont connues — oo- renvoie à une classification propre aux œufs fossiles, faute d'embryon à l'intérieur. La première, *Megaloolithus petralta*, correspond à des œufs sphériques d'une vingtaine de centimètres de diamètre, à coquille épaisse. Les experts débattent toujours du genre de dinosaure qui en sortait. Peut-être un gros titanosaurien — un géant au long cou — ou un hadrosaure — un dinosaure à bec de canard. *« Seul un embryon, dans un œuf ou à l'intérieur d'une femelle en gestation, permettra de faire l'identification. Pour l'instant la seule chose dont on est sûr, c'est qu'on ne sait pas »*, plaisante Thierry Tortosa. L'autre type de coquille est bien plus fin : moins d'un millimètre d'épaisseur, et il est associé à *Megaloolithus* cf. *aureliensis* dont les rejetons étaient aussi des herbivores. Enfin, des indices d'une troisième ooespèce (non nommée) à la coquille ultrafine (à peine un quart de millimètre) ont récemment été découverts. Fort heureusement, la réserve n'abrite pas que des œufs, mais aussi de nombreux ossements qui ont permis d'attester la présence d'au moins trois dinosaures différents (*lire l'encadré ci-contre*). Un herbivore, *Rhabdodon priscus*, connu grâce à des bouts de patte, une mâchoire et quelques dents. Et deux carnivores identifiés, là encore, avec quelques dents. Les premiers étaient-ils les proies des deux autres ? Avec l'extension de son périmètre, de nouvelles fouilles pourraient permettre de mieux connaître ces dinosaures et probablement d'en découvrir d'autres. *« C'est sans doute l'affaire de toute une vie de fouilles mais le rôle d'une réserve naturelle n'est pas d'exhumer tout ce qu'on pourrait y trouver, mais au contraire de préserver le patrimoine fossile en place, pour que les générations futures puissent encore l'étudier »*, insiste Thierry Tortosa.

Des informations inédites sur la biologie des dinosaures

Car ces œufs ne sont pas seulement une curiosité provençale. Leur densité, leur variété et leur état de conservation pourraient livrer des informations inédites sur la biologie des dinosaures qui peuplaient l'actuel territoire français à la fin du crétacé. Disposition des nids, diversité des coquilles, conditions de ponte : autant d'indices susceptibles d'éclairer leurs stratégies reproductives, leur comportement parental ou leur adaptation aux environnements insulaires. Et peut-être même expliquer les raisons de leur déclin. Les argiles rouges de la Sainte-Victoire recèlent peut-être les clefs d'un chapitre essentiel de l'histoire des dinosaures en Europe. Et au-dessus, l'aigle de Bonelli, dernier descendant de la lignée des théropodes, veille aujourd'hui sur cet héritage. ■ **Joël Ignasse**

FRANCE LAINÉ

« Seul un embryon, dans un œuf ou à l'intérieur d'une femelle en gestation, permet de faire l'identification »

Thierry Tortosa, paléontologue et conservateur de la réserve naturelle nationale de Sainte-Victoire

Les mégalithes de Carnac enfin reconnus par l'Unesco

Après plus de trois décennies de démarches, les menhirs et dolmens de Carnac et du sud du Morbihan ont rejoint les sites classés au patrimoine mondial de l'Unesco. Érigés au néolithique, les 550 monuments répartis dans 28 communes sont loin d'être tous compris par les scientifiques.

La nouvelle est tombée le 12 juillet : les mégalithes de Carnac et des rives du Morbihan ont enfin rejoint la liste du patrimoine mondial de l'Unesco. Il aura fallu près de trois décennies de travaux scientifiques, de concertations locales et de plaidoyers institutionnels, orchestrés notamment par le regretté Yves Coppens, pour que cette reconnaissance symbolique soit décrochée. Et pour cause : ceux que l'on surnomme affectueusement les « cailloux » de Carnac constituent un patrimoine hors norme, difficile à faire entrer dans les cases. *« Contrairement à un site unique comme le Mont-Saint-Michel, ils forment un ensemble diffus de plus de 550 monuments mégalithiques répartis sur 28 communes,* explique Jean-Paul Demoule, professeur émérite d'archéologie à l'université Paris-I Panthéon-Sorbonne et grand spécialiste du néolithique. *Cette dispersion géographique n'a pas facilité les choses. Plus freinant encore, le fait que le site n'ait bénéficié que très tardivement d'un plan de gestion garantissant sa protection, qui est, hélas, encore relatif aujourd'hui.* »

En effet, si les mégalithes ont été classés comme monuments historiques dès 1889, nombre d'entre eux ont été par la suite disséminés dans des jardins privés ou encore détruits ou déplacés au profit de routes, de lotissements ou d'aménagements agricoles. Pas plus tard qu'en 2023, à Carnac, l'installation d'un magasin de bricolage, sur un site que l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) avait pourtant diagnostiqué comme mégalithique, avait entraîné la destruction d'au moins 38 menhirs vieux de plus de 7000 ans. *« Il aura enfin fallu des années pour qu'un musée digne de ce nom soit ouvert, et encore, celui qui a vu le jour est sous-dimensionné »*, regrette Jean-Paul Demoule.

Plus de 3000 pierres sur 11 rangées de 4 km de long

La préservation de ces fragiles menhirs, dolmens et autres cairns bretons érigés vers 4500 ans avant notre ère, à l'époque des premières sociétés agropastorales du néolithique, est d'autant plus urgente qu'ils comportent encore leur lot d'énigmes. Si nous savons depuis longtemps que les dolmens — mot qui signifie littéralement « table en pierre » en breton — sont les vestiges de tombeaux monumentaux et prestigieux bâtis sur le principe des pyramides égyp-

MATÉRIAUX

Pigments, bois ou tissus : des mégalithes qui n'étaient pas que « minéraux »

Les menhirs et dolmens bretons que nous voyons aujourd'hui sont très différents de ce qu'ils étaient à l'époque de leur aménagement, il y a plus de 7000 ans. D'abord parce que nombre d'entre eux ont subi les affres du temps, mais aussi parce qu'il est probable que tout un tas d'éléments organiques dont ils étaient agrémentés aient disparu. Clôtures, stèles et portiques en bois, mais aussi tissus, éléments végétaux ou encore peintures et gravures, dont il reste encore quelques traces… La pierre n'était pas le seul matériau qui composait ce vaste ensemble.

FRANÇOIS GUENET / DIVERGENCE

L'alignement de Kermario est un des sites les plus spectaculaires de Carnac, qui comprend près de 1000 menhirs répartis sur 10 rangées.

tiennes (bien qu'ils aient été construits deux mille ans avant celles-ci), les menhirs, eux, ont encore du mal à être interprétés.

« *En archéologie, quand on échoue à expliquer la fonction d'une structure, on dit que c'est rituel* », plaisante Jean-Paul Demoule. Constitués de plus de 3000 pierres disposées sur 11 rangées de 4 kilomètres de long, les alignements de Carnac n'auraient pas eu une fonction funéraire. « *Ils ont été implantés selon la topographie du lieu, de sorte qu'il existait une continuité visuelle des différents alignements* », détaille l'archéologue. Il a d'ailleurs été démontré que les menhirs avaient été dressés de manière à accentuer les effets de perspective : les plus grands, de plus de 3 mètres, sont implantés sur les points hauts, tandis que les plus petits, de moins de 90 centimètres, sont dans les zones les plus basses.

Encore aujourd'hui, ces alignements de pierres dressées font l'objet de différentes interprétations. « *Certains chercheurs parlent de repères pour la déambulation, d'autres de marqueurs territoriaux à une époque où les tensions se font de plus en plus fortes* », énumère Jean-Paul Demoule. À partir de 6500 avant notre ère, l'Europe est colonisée d'est en ouest par des agriculteurs. Vient un moment, vers 4500 ans avant notre ère, où ces groupes butent sur l'océan Atlantique et sont contraints de s'arrêter. « *Avec la sédentarisation, on observe un boom démographique en Europe. C'est sur ces territoires côtiers, où la pression est plus forte qu'ailleurs, que l'on commence à voir apparaître ces mégalithes, que l'on trouvera par la suite un peu partout sur le Vieux Continent.* » Une autre de ces interprétations est celle, plus débattue, d'une structure d'observation astronomique « façon Stonehenge », célèbre monument circulaire érigé entre 3000 et 1600 avant notre ère dans le sud de l'Angleterre (Royaume-Uni).

Les plus anciens monuments mégalithiques d'Europe

Depuis une dizaine d'années, les études scientifiques destinées à éclairer les zones d'ombre persistantes sur les mégalithes bretons tendent à se multiplier. La dernière en date, dont les résultats ont été publiés dans la revue *Antiquity* en juin, a permis de confirmer que les alignements du sud du Morbihan constituaient les plus anciens monuments mégalithiques d'Europe. Menés par l'université de Göteborg (Suède) en partenariat avec la société de fouilles française Archeodunum et l'université de Nantes, ces travaux de datation d'une précision inégalée font remonter les alignements du Plasker, à Plouharnel, à une période comprise entre 4670 et 4250 avant notre ère, soit au moins six siècles avant Stonehenge !

« *Leur préservation est une priorité,* conclut Jean-Paul Demoule. *Elle doit s'appliquer à tous les mégalithes, c'est-à-dire également à ceux qui, nombreux, sont encore enfouis sous les ronces dans la forêt et qui n'ont jamais été étudiés.* » ■

Marine Benoit

ANNE FOURES

« Il faut préserver les nombreux mégalithes encore enfouis sous les ronces dans la forêt, qui n'ont jamais été étudiés »

Jean-Paul Demoule, professeur émérite d'archéologie à l'université Paris-I Panthéon-Sorbonne

Un palais qui donne ses lettres de noblesse à la science

Ouvert dans le cadre de l'Exposition universelle de 1937, le palais de la Découverte a été conçu comme un lieu montrant la « science en train de se faire » par son fondateur Jean Perrin, prix Nobel de physique. Installations et expériences en direct vont attirer plus de 2 millions de visiteurs cette année-là. Un succès qui voit la pérennisation de l'institution.

Par Denis Guthleben

« *Malgré les guerres et les révolutions, malgré la crise économique et le chômage, au travers de nos inquiétudes et de nos angoisses, au travers aussi de nos espérances, l'essor de la Civilisation devient de plus en plus rapide, grâce à des techniques sans cesse plus souples et plus efficaces, en des domaines sans cesse plus étendus.* » Écrits en 1937, ces mots n'ont rien perdu de leur bien-fondé. Ils amorcent la préface de Jean Perrin au fascicule du palais de la Découverte, qui s'apprête à ouvrir ses portes dans le cadre de l'Exposition universelle — ou « Exposition internationale des arts et des techniques appliqués à la vie moderne » —, à Paris. Prix Nobel de physique en 1926, défenseur zélé de la structuration de la science en France, Jean Perrin a rejoint en septembre 1936 le gouvernement de Léon Blum en tant que sous-secrétaire d'État à la Recherche scientifique, auprès du ministre de l'Éducation nationale et des Beaux-Arts Jean Zay. Si le savant n'est pas à proprement parler à l'origine du projet, le palais de la Découverte n'en reste pas moins l'une de ses grandes réalisations. L'opportunité d'organiser une Exposition universelle à Paris, qui n'en avait plus accueillie depuis 1900, est examinée depuis la fin des années 1920, et a fini par être actée par une loi en juillet 1934. Celle d'y attribuer une place de choix à la science apparaît dès 1933, poussée notamment par la Confédération des travailleurs intellectuels, une organisation syndicale née après la Première Guerre mondiale et qui jouit alors d'une influence indéniable. Plusieurs de ses membres siègent à la commission de synthèse et de coopération intellectuelle de l'Exposition à partir de septembre 1934, dont le diplomate Henry de Jouvenel, choisi pour en assurer la présidence. Parmi eux, figure aussi le peintre André Léveillé, qui défend l'inauguration d'un *« Palais des éléments »* afin d'exalter *« la science et le progrès humain »*. Une sous-commission des Sciences et Palais des éléments est donc formée, dont la responsabilité est confiée à Jean Perrin. Comme le note Pascal Ory dans *La Belle Illusion. Culture et politique sous le signe du Front populaire*, *« il ne fallut qu'une séance à ce dernier, le 6 décembre, pour réorienter le projet, l'élargir et le rebaptiser selon ses vœux palais de la Découverte »*. Jean Perrin n'a pas été associé à cette initiative par hasard. Le physicien est alors connu et reconnu

CYRIL FRÉSILLON-CNRS

Historien des sciences, Denis Guthleben est directeur du musée Curie.

EXCELSIOR - L'EQUIPE / ROGER-VIOLLET

Créé à l'occasion de l'Exposition universelle (ou « Exposition internationale des arts et des techniques appliqués à la vie moderne ») de 1937, le palais de la Découverte sera conservé après l'événement comme institution permanente.

bien au-delà de la communauté scientifique. Le prix Nobel qu'il a obtenu n'explique pas à lui seul cette notoriété. Son livre *Les Atomes*, publié en 1913, a été un succès de librairie.

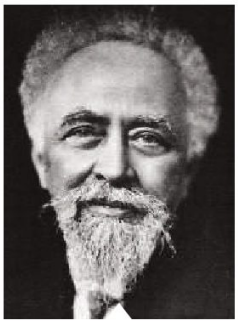
Un projet ambitieux de 25 000 m² dans la partie ouest du Grand Palais

Il a aussi joué un rôle majeur dans la mobilisation des savants lors de la Grande Guerre, puis pris la tête d'une croisade en faveur de la recherche en France : lorsqu'il est appelé à la tête de la sous-commission de l'Exposition, il vient coup sur coup de fonder en 1927 un laboratoire de pointe à Paris, l'Institut de biologie physico-chimique, avec l'appui d'Edmond de Rothschild ; d'obtenir du gouvernement Tardieu en 1930 la création de deux caisses nationales pour les sciences et pour les lettres ; et d'inciter le ministre de l'Éducation nationale Anatole de Monzie à installer en 1933 un conseil supérieur de la recherche pour coordonner tous les efforts dans ce domaine. Le Palais va devenir la vitrine de cette science qui se charpente. André Léveillé, pas rancunier de l'effacement de son projet, et même conquis par le dessein de Jean Perrin, accepte d'en devenir le secrétaire général — en commençant par rédiger un rapport qui achève de convaincre le commissariat général de l'Exposition. Dans sa préface de 1937, Jean Perrin en rappelle l'esprit : *« Dans une Exposition qui va être consacrée aux Arts et aux Techniques dans la Vie Moderne »*, il convient de *« faire la place qu'elles méritent aux activités qui ont été précisément la source de ces techniques »*, celles qui mènent à la découverte scientifique, *« le facteur principal, et peut-être même unique, du progrès humain »*. Pour affirmer sa conviction, le physicien n'est pas en mal d'illustrations : *« Si quelques philosophes ou médecins du XVIIIe siècle n'avaient pas réfléchi aux propriétés singulières de l'ambre frotté ou de pierres d'aimant, si Volta n'avait pas*

Tout l'enjeu du projet : ne pas mettre sous vitrines une collection d'instruments sibyllins, mais dévoiler une science en action, avec des expériences

découvert les piles et les courants électriques, si Ampère ou Faraday n'avaient pas trouvé les lois d'interaction entre ces courants et les aimants, rien, je dis absolument rien, n'existerait de toute notre énorme industrie électrique. » Et il insiste : *« Ainsi le grand public pourra comprendre la part déterminante que la Découverte de l'inconnu a prise dans la création de la civilisation. Et il comprendra que cette Découverte doit être poursuivie, sans préoccupation pratique, précisément si l'on veut en tirer de grands résultats ; il comprendra […] que ce n'est pas en se donnant pour problème de voir des projectiles dans le corps qu'on eût pu découvrir les rayons X […] En sorte que, par un retour singulier, l'intérêt pratique le plus pressant du Pays est de favoriser la recherche pure, désintéressée, poursuivie pour sa seule valeur intellectuelle et artistique.* »

Bâti autour de huit sections — mathématique, astronomie, physique, chimie, biologie, médecine, chirurgie et microbiologie —, le palais de la Découverte s'installe dans la partie ouest du Grand Palais, où il dispose de 25 000 m² pour dévoiler *« la science en train de se faire »*. C'est là tout l'enjeu du projet : ne pas mettre sous vitrines une collection d'instruments sibyllins, mais dévoiler une science en action, avec des expériences *« refaites sous les yeux des visiteurs par des "démonstrateurs" qui les expliquent, s'aidant au besoin de phonogrammes synchronisés ou de films cinématographiques. En outre, de brefs commentaires, sous forme de tableaux, relient les expériences, constituent pour chaque science un ensemble logique et indiquant les inventions ou les applications jaillies de chaque découverte. »*



BRIDGEMAN IMAGES

Jean Perrin (1870-1942) a joué un rôle essentiel dans la création du palais de la Découverte et du CNRS, notamment.

Les visiteurs — et les visiteuses ! — ne s'y trompent pas : bien qu'il soit à l'écart du reste de l'Exposition qui se déroule surtout autour du Champ-de-Mars et du Trocadéro, et qu'il faille acheter un billet spécial pour le visiter, le Palais recense 2 255 677 entrées du 25 mai au 25 novembre 1937. Les jeunes sont au rendez-vous, alimentant les espoirs idéalistes de Jean Perrin : *« Je peux bien rappeler à ce sujet que Faraday, dont les découvertes, avec celles d'Ampère, ont eu les immenses résultats que j'ai dits, n'était qu'un simple ouvrier relieur et que le hasard seul l'a conduit dans les laboratoires. S'il se révélait ainsi dans notre Palais de la Découverte une seule grande vocation de même sorte, notre effort à tous serait payé plus qu'au centuple. »*

Face à l'avenir incertain du Palais, rappeler notre besoin de science

Le succès est tel que la pérennisation du Palais vient vite à l'ordre du jour. Mais le contexte ne facilite pas la tâche. La chute du gouvernement Blum en juin 1937 a privé Jean Perrin de son sous-secrétariat d'État, bien qu'il puisse toujours compter sur le soutien de Jean Zay. Surtout, dans un monde qui glisse lentement mais sûrement vers l'abîme d'un nouveau conflit, l'ambition de démocratiser la science paraît moins cruciale. L'Exposition a elle-même fourni une allégorie de cette tension : le public a pu y admirer la composition lumineuse de Raoul Dufy, *La Fée électricité*, mais aussi l'œuvre tragique de Picasso, *Guernica*…

Un décret du 8 avril 1938 finit néanmoins par faire du Palais une institution permanente, sous la direction d'André Léveillé. Alors même qu'elle s'organisait à l'échelle du pays, qui s'apprêtait à fonder dans un même élan le CNRS (*lire l'encadré ci-contre*), la science a ainsi pu demeurer en son Palais. L'une et l'autre n'ont jamais cessé d'évoluer depuis, main dans la main : fidèle à sa mission de dévoiler une science en mouvement, le palais de la Découverte s'est réinventé au fil des décennies. Alors que son avenir soulève actuellement des inquiétudes, il faut s'interroger : a-t-on besoin aujourd'hui de moins de science ? Doit-on cesser de la montrer, de l'expliquer, de la partager ? Peut-on se priver de l'émerveillement qu'a suscité dès l'origine le palais de la Découverte, et des vocations qu'il a fait naître ? Les réponses sont dans les questions… ■

INSTITUTION

Des liens intimes avec le CNRS

Le Centre national de la recherche scientifique a été créé le 19 octobre 1939, peu après l'entrée en guerre de la France contre le IIIe Reich. Mais sa genèse se déploie tout au long des années 1920 et 1930, autour de l'ambition, dont Jean Perrin a été la figure de proue, d'organiser la recherche à l'échelle du pays. Sous le Front populaire, avec l'aide de Jean Zay, le physicien a posé les fondements du nouvel organisme, en même temps qu'il œuvrait à la mise en place du palais de la Découverte. Les deux projets sont intimement liés : au CNRS la mission de développer la recherche, en encourageant les travaux de pointe ; au Palais celle de la dévoiler au plus grand nombre, en expliquant ses principes et ses méthodes, et en stimulant chez les jeunes des passions qui peuvent les conduire à rejoindre les laboratoires, et à participer, à leur tour, au progrès des connaissances. Le CNRS et le Palais ont été conçus comme les deux faces d'une même pièce !

SCIENCES ET AVENIR
LES DOSSIERS

LES DOSSIERS
SCIENCES
ET AVENIR

Boostez vos capacités

Une
MÉMOIRE
en pleine forme

GETTYIMAGES

en vente en kiosque

RENDEZ-VOUS

SOMMAIRE

▶ C'est à lire
p. 90

▶ C'est à voir
p. 92

▶ Questions de lecteurs
p. 94

▶ Courrier
p. 95

▶ Le ciel du mois
p. 96

▶ À retrouver sur notre site
p. 98

YANN ARTHUS-BERTRAND/HEMIS.FR

Pionnier de la tectonique des plaques (ici la faille de San Andreas, aux États-Unis), Xavier Le Pichon retrace dans cet ultime ouvrage ses récits d'expédition et livre une réflexion philosophique.

Le chant de la Terre

Dans cet ouvrage posthume, le géophysicien Xavier Le Pichon, décédé en mars dernier, tire les enseignements d'une vie à parcourir le globe.

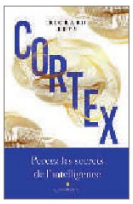
TESTAMENT Xavier Le Pichon, célèbre dès la fin des années 1960 pour avoir défini la carte et le fonctionnement des plaques tectoniques terrestres, puis pour avoir plongé pour la première fois en bathyscaphe à près de 3000 mètres de profondeur au milieu de l'océan Atlantique, est mort le 22 mars dernier. Quelques mois plus tard, cet ultime ouvrage nous plonge dans une longue réflexion sur la place d'*Homo sapiens* dans le cours de la vie et sur ce qui lui a permis, depuis le néolithique, d'occuper toute la surface de la Terre, au détriment de tous les autres hominidés.

La démonstration tant scientifique que philosophique s'appuie notamment sur les récits d'expéditions du géophysicien dans l'Atlantique, le Pacifique, en Méditerranée ou au large du Japon. Il tire des enseignements également de ses rencontres avec des personnalités exceptionnelles — de mère Teresa à l'empereur du Japon, en passant par le commandant Cousteau ou le général Giàp, à l'origine de la défaite des Français en Indochine. Il interroge aussi les différentes formes de pensée et de religion — le scientifique était aussi un fervent catholique —, les grands témoins qui ont été sources d'inspiration dans sa vie (Proust, Dostoïevski, Beethoven, etc.). Il tente enfin de comprendre comment l'humain, à qui son passé de chasseur-cueilleur a donné « le goût de la Terre » essentiel à sa survie, a acquis ensuite un recul suffisant pour appréhender son passé et son futur. Ce qui, d'un point de vue scientifique, lui permet aujourd'hui de comprendre notre impact sur le climat et ses conséquences à venir. Un testament étonnant, qui mêle science et mystique. ■

Sylvie Rouat

Le Goût de la Terre, Xavier Le Pichon, Odile Jacob, 368 p., 25,90 €

Aux sources de l'intellect humain



INTERFACE Au fil de nombreux cas cliniques étonnants, le professeur de neurologie Richard Lévy invite à découvrir la façon dont le cortex façonne l'intelligence humaine. Hypertrophiée chez notre espèce par rapport aux autres primates, cette écorce entourant le cerveau fonctionne comme une interface entre nos perceptions et notre capacité à choisir et à agir. Un essai pointu mais accessible qui aide à comprendre comment l'humain se libère (parfois) de ses pulsions pour orchestrer sa pensée. ■ **H. J.**

Cortex, Richard Lévy, Albin Michel, 336 p., 22,90 €

Des organismes aux frontières du réel

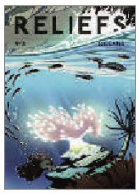
RÉCITS Des histoires à dormir debout ? Plutôt à garder en éveil ! Prenez celle de l'aleurode du tabac (*bemisia tabaci*) : cet insecte, *« forban voleur de gènes »*, a piqué par accident l'ADN d'une plante et est ainsi immunisé à vie contre

les barrières chimiques des végétaux. Et que dire du strepsitère *Xenos vesparum*, qui vit aux dépens de la guêpe *Polistes dominula* au point que son cycle reproductif passe par le corps zombifié de l'hôte colonisé ? La nature décrite ici avec humour dépasse bien la science-fiction. ■ **A. De B.**

Nature de science-fiction, Gregory Roeder, Salamandre, 176 p., 19 €

Indispensables océans

PORTRAITS Tout au long de l'année 2025, on aura célébré les océans, objets de soins, de rêveries et de convoitises : ce



numéro de l'élégante revue *Reliefs* lui consacre son grand dossier. Aux explications des spécialistes — l'océanologue Catherine Jeandel, la cétologue Fabienne Delfour, le paléoclimatologue Gilles Ramstein et l'océanographe Françoise Gaill — font écho d'éclairantes infographies, mais aussi les incursions en littérature, grâce aux extraits d'ouvrages choisis à découvrir. Laissez-vous tenter. ■ **A. De B.**

Reliefs Océans, n° 21, Reliefs éditions, 184 p., 19,90 €

Pionnières en sciences

HOMMAGE Margarita Salas, Emmy Noether, Barbara McClintock… Autant de noms méconnus, ceux de trois pionnières de science toutes victimes du sexisme de leur époque. Ce joli récit graphique bicolore au style bien marqué leur rend un bel hommage. Il raconte leurs trajectoires respectives de biologiste, physicienne et généticienne. Ce voyage dans le temps

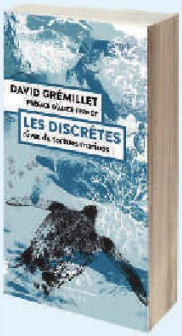
illustre la prise de conscience, par une étudiante actuelle, de la multitude d'obstacles que ces femmes d'exception ont dû franchir et de leur ténacité. ■ **S. R.-M.**

L'Écho des savantes. En quête des pionnières de la science, Tatiana Kacan, illustration Naute, Delachaux et Niestlé, 72 p., 19,95 €

Immersion sensorielle

MOBILITÉ Jacques Tassin aime la marche, adore les arbres et leur rend hommage, en soulignant que la mise en mouvement des humains est *« née de notre convivialité ancestrale »* avec eux. Dans ce livre, paru dans la collection « Marcher avec » chez Salamandre, le penseur et écologue fustige la sédentarité et entremêle les souvenirs de randonnées partout dans le monde avec la critique des dérives de l'agro-industrie et les rencontres avec maints représentants du monde végétal. Dont les plus remarquables ne sont pas forcément les plus chers à ses yeux… Ainsi se rappelle-t-il avec une égale émotion des humbles arbustes prodigues en formes et couleurs qui furent ses compagnons sur le chemin de l'école, et de l'impressionnante forêt de Bélouve, sur l'île de La Réunion. Tout est prétexte à immersion sensorielle chez ce marcheur doué pour reconnaître le langage des oiseaux, sonder du regard la canopée, heureux de sentir sur sa peau le frôlement des feuillages lors d'une balade nocturne. Car, rappelle-t-il, *« la marche est une expérience perceptive totale »*. ■ **Andreina De Bei**

Sous les arbres, Jacques Tassin, Salamandre, 148 p., 19 €



Secrètes tortues

ENQUÊTE Sur les plus de 300 espèces de tortues que compte notre planète, seules sept vivent en mer : les tortues luth, les tortues vertes, les tortues caouannes, les tortues à dos plat, les tortues imbriquées, les tortues olivâtres et les tortues de Kemp. Capables de plonger en apnée à plus de 1200 m de profondeur, ou pendant plus de dix heures, ces reptiles sont aussi dotés d'une longévité et d'une résilience extraordinaires. Dans certaines sociétés côtières, en Inde, en Chine, en Amérique centrale, etc., les tortues sont symboles de sagesse. Un statut qui, hélas, ne les empêche pas de subir de plein fouet les effets des changements climatiques, de la pêche industrielle, du tourisme de masse… Leur protection et leur conservation constituent donc un sacré défi, sur lequel nous alerte l'océanographe David Grémillet dans ce récit sensible, et plaisant à lire, sur notre relation à ces bêtes si secrètes. ■ **Vincent Glavieux**

Les Discrètes, David Grémillet, Actes Sud, 272 p., 22 €

▶ **Ce symbole désigne les nouvelles expositions**

EXPOSITIONS

Alise-Sainte-Reine (21)

César, tous les chemins mènent à Rome
Jules César imprègne l'imaginaire collectif. L'exposition retrace l'ascension vers le pouvoir de cette figure autant admirée que détestée.
MuséoParc Alésia, 1, route des Trois-Ormeaux, jusqu'au 30 novembre. Rens. : Tél. 03.80.96.96.23.

Dijon (21)

Sols, la vie sous nos pieds
Exploration d'un univers caché : la biodiversité des sols et leur rôle dans notre écosystème. Nous connaissons moins de 10 % des organismes qui y vivent.
Planétarium Hubert-Curien, jardin de l'Arquebuse, 14, rue Jehan-de-Marville, jusqu'au 4 janvier 2026. Rens. : 03.80.48.82.00.

Elbeuf (76)

Archéo, une expo à creuser !
Cette exposition est conçue comme un exercice pratique destiné à faire comprendre le métier d'archéologue. Comment fouille-t-on, avec quels outils ? Que trouve-t-on ? Que fait-on des objets découverts ? Lire notre reportage : sciav.fr/944archeo
La Fabrique des savoirs, 7, cours Gambetta, jusqu'au 4 janvier 2026. Rens. : 02.32.96.30.40.

Le Bourget (93)

Navigation aérienne et contrôle aérien
Ouvert fin juin, ce nouvel espace permanent de 400 m² est consacré aux outils, aux méthodes et au personnel dont dépend la sécurité du transport aérien.
Musée de l'Air et de l'Espace, 3, esplanade de l'Air-et-de-l'Espace. Rens. : 01.49.92.70.00.

Lyon (69)

Trop forts !
Une mise en lumière des adaptations des animaux — dont l'humain — pour survivre en conditions extrêmes. Certaines de ces aptitudes ont inspiré les chercheurs. Lire notre reportage : sciav.fr/943extremes
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 04.28.38.12.12.

Meaux (77)

Des chevaux et des hommes
Près de 1,9 million de chevaux et mulets furent mobilisés dans l'armée française pendant la Grande Guerre. Ils ont joué un rôle crucial, montre ce parcours.
Musée de la Grande Guerre, rue Lazare-Ponticelli, jusqu'au 4 janvier 2026. Rens. : 01.60.32.14.18.

Nîmes (30)

Gaulois, mais Romains !
L'histoire de la transformation de la société gauloise sous l'Empire romain, en plus de 200 objets et des reconstitutions numériques. On apprend comment s'est forgée l'identité gallo-romaine.
Musée de la Romanité, 16, boulevard des Arènes, jusqu'au 4 janvier 2026. Rens. : museedelaromanite.fr

Paris (75)

▶ **Transparence**
Conçu pour les enfants (et les accompagnants adultes), ce

▲ ▶ **Disque astrologique** en laiton (XVII^e siècle, Italie). **« L'Astronome »**, de Johannes Vermeer (huile sur toile, 1668).

MUSEO GALILEO - ISTITUTO E MUSEO DI STORIA DELLA SCIENZA - GRAND PALAIS RMN (MUSÉE DU LOUVRE) / FRANCK RAUX

Marseille (13) / Exposition

SCIENCES ET AVENIR PARTENARIAT

Lire le ciel. Sous les étoiles en Méditerranée

Quittant le monde du jour pour celui des constellations, le visiteur embarque pour un voyage dense et savamment scénographié à travers 3000 ans d'histoire humaine face à la voûte céleste. Ici, on n'explore pas l'Univers à bord d'un télescope spatial, mais depuis les rives de la mer Méditerranée, à travers les rêves et les savoirs des peuples qui les ont occupées. *« L'astronomie, comme l'astrologie, emploie encore aujourd'hui des termes et des noms qui sont nés autour de la Méditerranée. Ce corpus s'est transmis à travers les générations et les civilisations »*, souligne le conservateur Enguerrand Lascols. Une collection exceptionnelle d'objets scientifiques, de manuscrits, d'œuvres d'art, d'artefacts ethnographiques et de créations contemporaines jalonne le parcours. Parmi les pièces les plus précieuses : un globe céleste arabo-coufique du XI^e siècle, une fresque de Pompéi représentant Apollon, un disque astrologique du musée Galilée de Florence (Italie), et surtout le célèbre tableau *L'Astronome* de Vermeer, jamais exposé à Marseille jusqu'à présent. ■ **Joël Ignasse**

Mucem (niveau 2), 7, promenade Robert-Laffont, jusqu'au 5 janvier 2026. Rens. : 04.84.35.13.13.

parcours explore le rapport entre qualité de la matière et lumière. Géologie, physique, biologie voisinent avec l'art. Lire notre reportage : sciav.fr/944enfant
Palais des enfants, 17, avenue du Général-Eisenhower, jusqu'au 29 août 2027. Rens. : www.grandpalais.fr

▶ Amazônia. Création et futurs autochtones
L'exposition épouse le point de vue des habitants de l'Amazonie. Elle instaure également un dialogue entre les collections du musée et les œuvres d'artistes autochtones.
Musée du quai Branly-Jacques-Chirac, quai Branly, jusqu'au 18 janvier 2026. Rens. : 01.56.61.70.00.

▶ Cité des enfants
Entièrement transformé après un an de fermeture, le lieu scientifique dédié aux 5-10 ans, a rouvert. Il propose cinq univers thématiques. Lire notre reportage : sciav.fr/944cite
Cité des sciences et de l'industrie, 30 avenue Corentin-Cariou. Rens. : 01.85.53.99.74.

Le mystère Cléopâtre
Peintures, sculptures, estampes, manuscrits, objets archéologiques, bijoux, costumes, photographies… mettent en évidence la renommée de Cléopâtre et de l'imaginaire qui lui est associé.
Institut du monde arabe, 1, rue des fossés-Saint-Bernard, jusqu'au 11 janvier 2026. Rens. : 01.40.51.38.38.

Saint-Germain-en-Laye (78) / Exposition

Les maîtres du feu

MAN / VALORIE GÔ

Pendeloque en bronze en forme de peigne (900-800 avant notre ère).

Entre 2300 et 800 ans avant notre ère, c'est l'âge du bronze. Dans ce parcours en quatre chapitres, il est bien sûr question de métallurgie. « *Alliage d'étain et de cuivre, le bronze est plus dur que ses composants, ce qui permet de faire des outils et des armes* », détaille l'archéologue Rolande Simon-Millot, conservatrice au Musée d'archéologie nationale. C'est aussi le début de l'accès aux ressources minières, qui marque encore nos sociétés contemporaines. La troisième partie porte sur le monde imaginaire et cérémoniel des peuples de la période, suggéré par la découverte de sépultures. Le dernier segment est consacré à l'habitat et aux objets domestiques (céramiques, métier à tisser…). Lire notre reportage : sciav.fr/944feu ■ **Bastien Beaujeu**
Musée d'archéologie nationale, 1, place Charles-de-Gaulle, jusqu'au 9 mars 2026. Rens. : 01.39.10.13.00.

Strasbourg (67)

▶ Musée zoologique
Après six ans de travaux, un parcours de visite rénové inclut une galerie des oiseaux ainsi que sept salles consacrées chacune à une pièce phare des collections.
Musée zoologique, 29, boulevard de la Victoire. Rens. : 03.68.98.50.00.

Toulouse (31)

Station spatiale Mir
La station russe, désorbitée en 2001, fait l'objet d'une expérience de visite renouvelée, en immersion, replacée dans le contexte historique des années 1990 et de la collaboration spatiale internationale.
Cité de l'espace, avenue Jean-Gonord. Rens. : 05.67.22.23.24.

Vandoncourt (25)

Fourmis à la loupe
Apparues il y a 120 millions d'années, les fourmis sont présentes sur toutes les terres émergées. Formes, tailles, couleurs, la diversité des 12 000 espèces connues est détaillée ici.
La Damassine, 23, rue des Aiges, jusqu'au 23 décembre. Rens. : 03.81.37.78.30.

Paris (75) / Cinéma scientifique

SCIENCES ET AVENIR PARTENARIAT

Pariscience, le festival qui ramène sa science

Le rendez-vous des passionnés du film scientifique est de retour pour sa 21e édition en partenariat avec *Sciences et Avenir*. Une soixantaine d'œuvres — documentaires, films de fiction et d'animation — seront en compétition et quelque 80 scientifiques et réalisateurs seront présents pour les défendre. Cette année, deux grands axes guideront une partie de la programmation : l'océan, ses écosystèmes fragiles et ses enjeux climatiques ; et la santé mentale à travers des regards scientifiques, personnels et politiques. Parmi les nouveautés : une compétition de courts-métrages réservée aux étudiants. La rédaction de *Sciences et Avenir* animera le débat de la soirée d'ouverture et organisera un débat sur la plateforme Twitch pour présenter le festival : www.twitch.tv/sciencesetavenir ■ **Mathieu Nowak**

Du 3 au 17 octobre pour les scolaires ; du 23 au 27 octobre pour le grand public. Renseignements : pariscience.fr

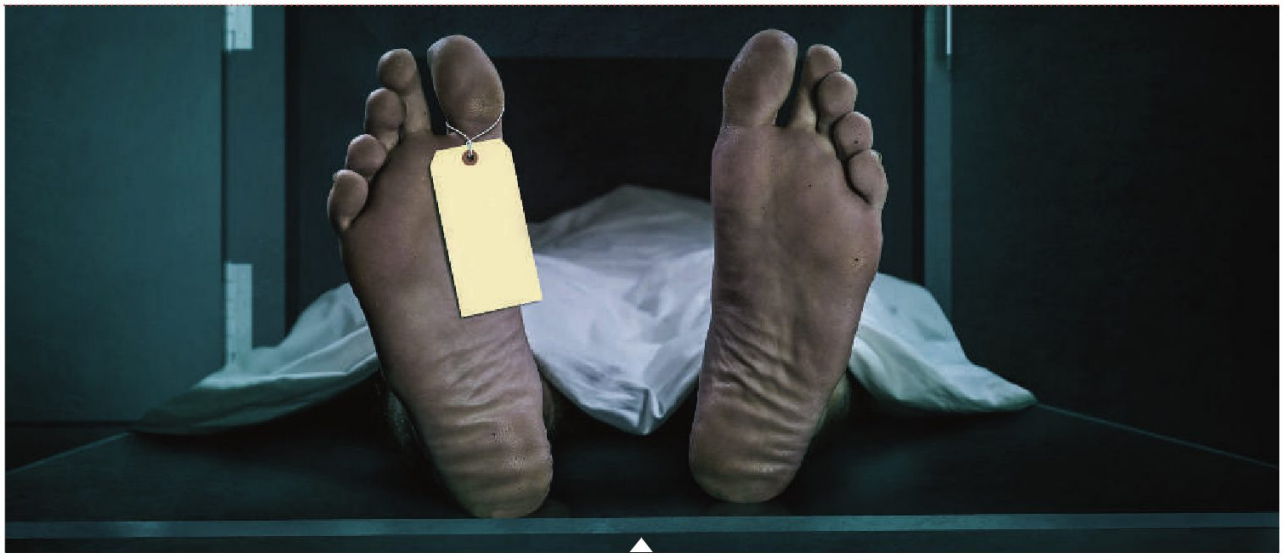
PARTENARIAT

Courbevoie (92)

Atmosphères
15e édition de ce festival entièrement gratuit, consacré aux enjeux et solutions du développement durable dans une approche pluridisciplinaire (cinéma, arts, sciences, expériences). Des tables rondes et des ateliers complètent la programmation.
Du 8 au 12 octobre.
Rens. : www.atmospheresfestival.com

Scannez ce QR code pour retrouver toutes les expositions

Posez vos questions sur la page **Facebook** de **Sciences et Avenir**



MARCOSCALVO/GETTY IMAGES

Le refus de notre cerveau d'associer « moi » et « mort » est une protection contre l'angoisse existentielle. Il est à l'origine de l'illusion selon laquelle les drames n'arrivent qu'aux autres.

NEUROSCIENCES

Accident, maladie, mort : pourquoi croit-on que « cela n'arrive qu'aux autres » ?

Alpha Y.

Nous savons tous que nous allons mourir. Cette vérité universelle, apprise dès l'enfance, s'impose avec une telle évidence qu'elle en devient presque banale. Et pourtant… lorsqu'il s'agit de penser à sa propre mort, une étrange résistance se manifeste. Comme si cela ne nous concernait que de loin, comme une histoire qui arriverait aux autres, jamais à nous.

Ce paradoxe s'explique non par un manque de lucidité, mais par un mécanisme cérébral bien réel. En 2019, une étude conjointe de l'université Bar-Ilan (Israël) et du CNRS, publiée dans la revue *NeuroImage*, a mis en lumière cette forme de « déni automatique ». En exposant 24 participants (d'une moyenne d'âge de 26 ans) à des mots associés à la mort (« funérailles », « deuil », etc.) suivis de leur propre visage ou de celui d'un inconnu, les chercheurs ont observé une réaction saisissante. Face au visage d'un inconnu, le cerveau du participant réagissait par une « surprise cognitive » : un signal cérébral apparaissant dans les régions visuelles postérieures entre 250 et 300 millisecondes après le stimulus. En revanche, face à son propre reflet, le volontaire n'affichait aucune réaction, le signal disparaissait. *« Cette expérience met en évidence que notre cerveau n'accepte pas que la mort puisse nous être associée »*, précise le neuroscientifique Yair Dor-Ziderman, à l'origine de ces travaux.

Selon le chercheur, ce refus d'associer « moi » et « mort » serait un rempart neurologique contre l'angoisse existentielle, mis en place dès l'enfance. Car pour un organisme programmé pour survivre, penser sérieusement à sa disparition serait tout simplement paralysant.

Ce biais de perception nourrit aussi l'illusion que les accidents, les maladies, les drames sont réservés aux autres. *« Nous ne pouvons pas rationnellement nier que nous allons mourir, mais nous percevons plutôt la mortalité comme quelque chose qui arrive aux autres »*, résume Yair Dor-Ziderman. Une illusion à double tranchant : elle apaise, certes, mais elle nous rend aussi plus vulnérables, en nous poussant à sous-estimer les risques. Elle nourrit ainsi l'imprudence face au danger, le scepticisme face aux maladies graves (« cela ne me concerne pas ») et la banalisation des avertissements de santé publique. ■

Lise Loumé

MYCOLOGIE

Pourquoi les champignons ne sont-ils pas considérés comme des plantes ?

Erwan R.

Les champignons diffèrent profondément des plantes sur le plan cellulaire, biochimique et évolutif. Contrairement aux végétaux, ils ne font pas de photosynthèse, car ils n'ont pas de chlorophylle, et se nourrissent de matière organique extérieure, à la manière des animaux. Leurs parois cellulaires sont composées de chitine (et non de cellulose) et leur énergie est stockée sous forme de glycogène (et non d'amidon). Ces différences ont conduit les scientifiques, dès 1969, à les classer dans un règne distinct : celui des « fungi ». ■ **Camille Gaubert**

PALÉONTOLOGIE

De quelles couleurs étaient les dinosaures ?

Audrey D.

Les dinosaures arboraient une palette de couleurs très variée. Grâce à l'analyse des mélanosomes fossiles, de microstructures cellulaires présentes dans les plumes et les poils, les chercheurs ont reconstitué les teintes de certaines espèces. Ainsi, *Sinosauropteryx*, carnivore aux allures de mangouste, était roux avec une queue rayée ; *Anchiornis*, mesurant seulement 30 cm de long, portait un plumage noir et blanc avec une crête rousse ; et *Borealopelta*, un cousin de l'ankylosaure, avait une peau rouge-brun. Comme les oiseaux modernes — leurs descendants —, certains dinosaures étaient donc très colorés, d'autres plus discrets, souvent camouflés dans leur environnement. ■ **Joël Ignasse**

Courriels à : courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

« Les 25 grandes découvertes »
(*Sciences et Avenir* n° 941-942, juillet-août 2025)

Bravo pour ces découvertes porteuses de tant d'espoirs. Ce dossier fait état des extraordinaires capacités d'absorption des éponges moléculaires. Pourront-elles être employées à grande échelle pour piéger le CO_2 atmosphérique ?

Lucien Lacroix

S. et A. : Ces matériaux (MOF) font l'objet de nombreux travaux de recherche pour une variété d'applications industrielles. Ils sont aussi considérés comme une technologie très prometteuse pour la capture du dioxyde de carbone dans l'air ambiant. Les chimistes s'efforcent, pour cela, de rendre les MOF plus stables en présence de l'humidité de l'air, de diminuer les coûts de fabrication à grande échelle ainsi que l'énergie requise pour régénérer ce type de matériau.

Mystérieuse planète 9

Pourquoi ne parvient-on pas à découvrir la « planète 9 » (*S. et A.* n° 941-942) qui ne se situerait qu'à quelques dizaines d'unités astronomiques, alors que l'on détecte des galaxies ou des trous noirs à des milliards d'années-lumière ?

Dominique Perriau

S. et A. : Bien que située dans le Système solaire, cette possible neuvième planète serait extrêmement difficile à observer de manière directe car relativement petite, très éloignée de notre étoile et très peu lumineuse. On ne sait pas, en outre, quelle serait sa position actuelle dans sa course autour du Soleil, qui pourrait durer 10 000 voire 20 000 ans ! Si elle existe, le nouvel observatoire Vera-Rubin aurait 60 % de chances de l'observer directement.

Une formidable diversité

11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 939
Les nouvelles armes

N° 940
Comment Sapiens a conquis le monde

N° 941-942
Les 25 grandes découvertes

N° 943
Dossier spécial Alzheimer

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45, av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 939 ❑ N° 940 ❑ N° 941/942 ❑ N° 943

Nom : .....
Adresse : ..... Ville : .....
.....
Code postal : .....

LE CIEL D'OCTOBRE

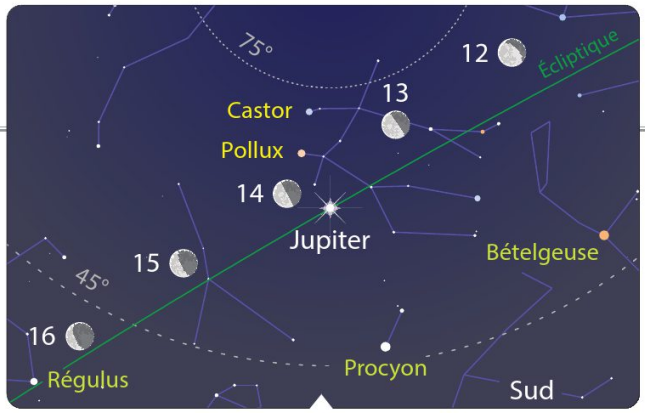
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE
La plus petite des planètes atteint sa plus grande distance angulaire (24°) à l'est du Soleil le 29. Malgré cette élongation non négligeable, elle n'est pas visible ce mois, perdue dans les lumières du couchant. La faute revient à l'écliptique, dont l'inclinaison est faible sur l'horizon en soirée à cette période de l'année.

VÉNUS
Bien que l'étoile du Berger se rapproche de la direction du Soleil — sa distance angulaire à l'astre du jour passant de 24° à moins de 17° ce mois —, elle demeure bien observable le matin, grâce à l'intensité de son éclat et à l'inclinaison prononcée de l'écliptique sur l'horizon.

MARS
La planète Rouge n'est pas visible.

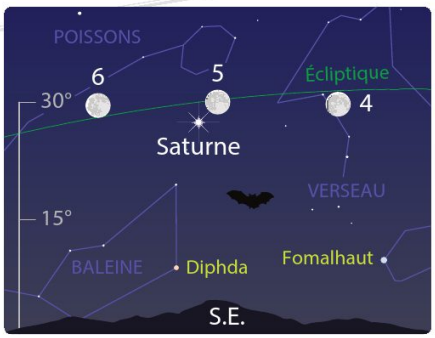


L'aspect du ciel est montré 1 h avant le lever du Soleil. Nous sommes tournés vers le sud et regardons à bonne hauteur. Jupiter est alors immanquable.

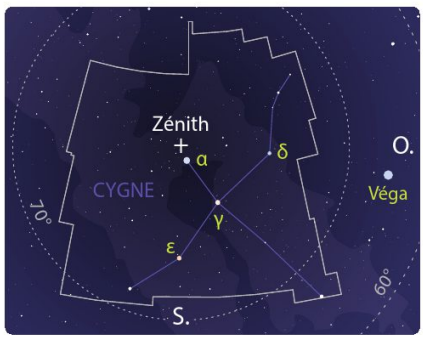
Rencontre au sommet dans les Gémeaux

LE 14 À L'AUBE, les Gémeaux et ses deux étoiles emblématiques Castor et Pollux accueillent une visiteuse familière : la Lune. En phase de dernier quartier, elle se trouve à proximité de Jupiter, dans un rapprochement qui captera les regards matinaux.

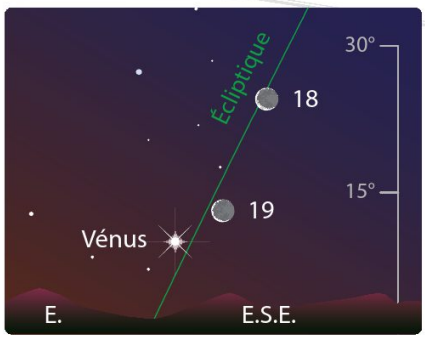
Notre conseil Repérez d'abord la Lune, bien haute dans le ciel de fin de nuit. Près d'elle brille Jupiter, beaucoup plus lumineuse qu'une étoile. Castor et Pollux complètent ce joli regroupement, à voir à l'œil nu sans difficulté. Une paire de jumelles révélera les détails du quartier lunaire et les quatre principaux satellites de Jupiter, presque parfaitement alignés.



LE SOIR DU 5, VERS 22 H, la Lune presque pleine se situe à moins de 4° de la planète Saturne, aux confins des pâles constellations du Verseau et des Poissons.



LE CYGNE EST UNE CONSTELLATION QU'ON TROUVE AU ZÉNITH VERS 21 H. Ses ailes se déploient dans la Voie lactée et Deneb, son étoile principale (α), matérialise sa queue.



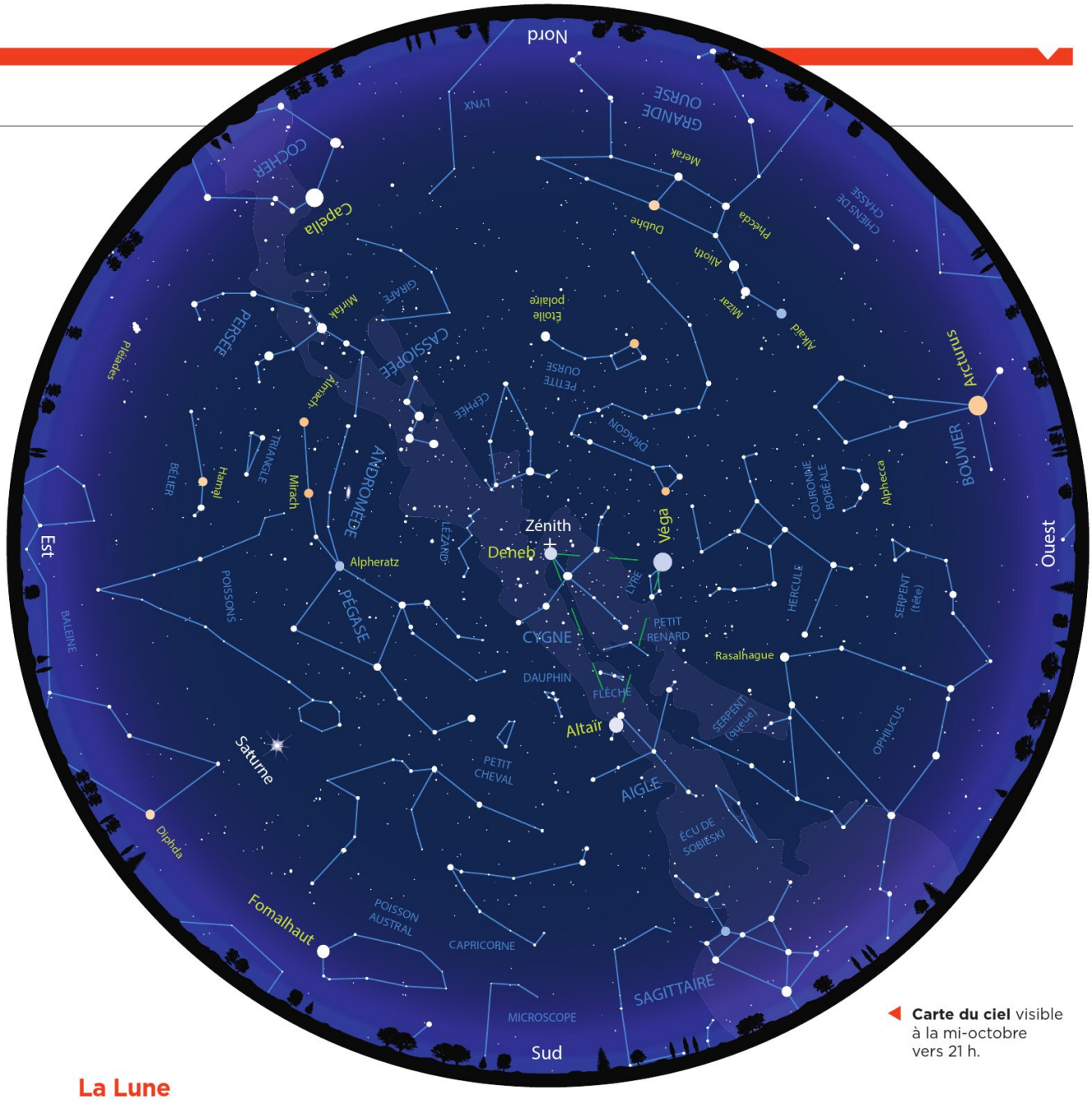
LE MATIN DU 19, 45 MINUTES AVANT LE LEVER DU SOLEIL, tentez l'observation du très fin croissant de Lune non loin de l'éclatante planète Vénus, à l'œil nu ou aux jumelles.

JUPITER
La planète géante se lève aux alentours de minuit. En fin de nuit, très brillante et bien haute dans le ciel, elle attire tous les regards. S'ouvre ainsi une excellente période d'observation, qui culminera en janvier lors de son passage à l'opposition.

SATURNE
Un mois après son opposition, la planète aux anneaux reste dans de bonnes conditions d'observation. Elle culmine à une quarantaine de degrés de hauteur au cœur de la nuit.

L'appli du mois

NEO ASTEROID TRACKER est une application gratuite en anglais pour Android. Elle s'appuie sur les données de la Nasa pour afficher la liste des objets passant près de la Terre, avec leurs taille, vitesse et distance minimale d'approche. Elle alerte en cas de passage notable. Idéale pour garder un œil sur les cailloux du Système solaire !



Carte du ciel visible à la mi-octobre vers 21 h.

La Lune

Pleine Lune: mardi 7 à 6 h (la Lune se trouve alors dans la constellation des Poissons)

Dernier quartier: lundi 13 à 20 h (Gémeaux)

Nouvelle Lune: mardi 21 à 14 h (Vierge)

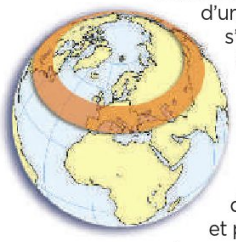
Premier quartier: mercredi 29 à 17 h (Capricorne)

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er octobre	7h52	19h28
31 octobre	7h38	17h30

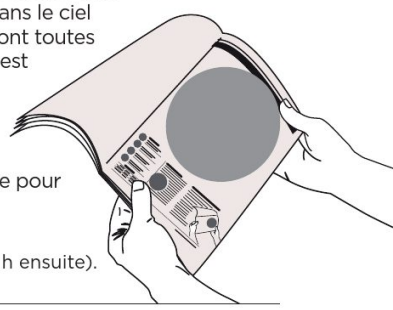
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel, et plus basse dans le cas contraire.



Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h jusqu'au dimanche 26 à 3 h, + 1 h ensuite).

Suivez-nous au quotidien sur le Web

www.sciencesetavenir.fr

REPORTAGE VIDÉO

Une forêt sous toit pour étudier la sécheresse

INRAE

À Montiers-sur-Saulx, dans la Meuse, des chercheurs utilisent un toit amovible pour simuler et étudier les effets du stress hydrique sur la forêt.
sciav.fr/944seche

DIAPORAMA

Revivez l'éclipse de Lune

AFP

Le soir du 7 septembre, l'astre sélène a pris une teinte rougeâtre en traversant l'ombre de la Terre. Retrouvez les explications et les plus belles photos du phénomène.
sciav.fr/944eclips

Le top 5 du mois

- **Une fourmi donne naissance à une autre espèce**
  sciav.fr/944fourmi
- **Les deux âges où le corps bascule dans la vieillesse**
  sciav.fr/944vieux
- **Découverte de la tombe d'un roi maya**
  sciav.fr/944caracol
- **Sur l'Everest, la fonte des glaces révèle les cadavres**
  sciav.fr/944everest
- **Alerte au cadmium dans le chocolat**
  sciav.fr/944cad

TWITCH SCIENCES ET AVENIR

TWITCH

Les secrets révélés des mégalithes

Menhirs, dolmens, tumulus... Quand on évoque les mégalithes, l'image du site de Stonehenge ou des pierres de Carnac, récemment classées au patrimoine mondial par l'Unesco, vient immédiatement en tête. Mais ils constituent un phénomène mondial et diversifié, bien au-delà de l'Europe.

Deux spécialistes, Florian Cousseau, de l'université de Durham (Royaume-Uni) et Tara Steimer, de l'université de Genève (Suisse), sont venus partager leurs recherches et répondre en direct à vos questions sur notre chaîne Twitch.
sciav.fr/944megal

LES SUJETS QUI VOUS FONT RÉAGIR

SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX

Linkedin

Cinq ans après l'apparition du Covid-19, les scientifiques sont de plus en plus nombreux à questionner l'émergence naturelle du virus. Retrouvez notre enquête en cinq épisodes sur ces origines troubles.
sciav.fr/944covid

Instagram

Écouter de la musique ou, mieux, apprendre à jouer d'un instrument freine le déclin cognitif chez les personnes âgées. Et il n'est jamais trop tard pour s'y mettre, montre une étude.
sciav.fr/944muse

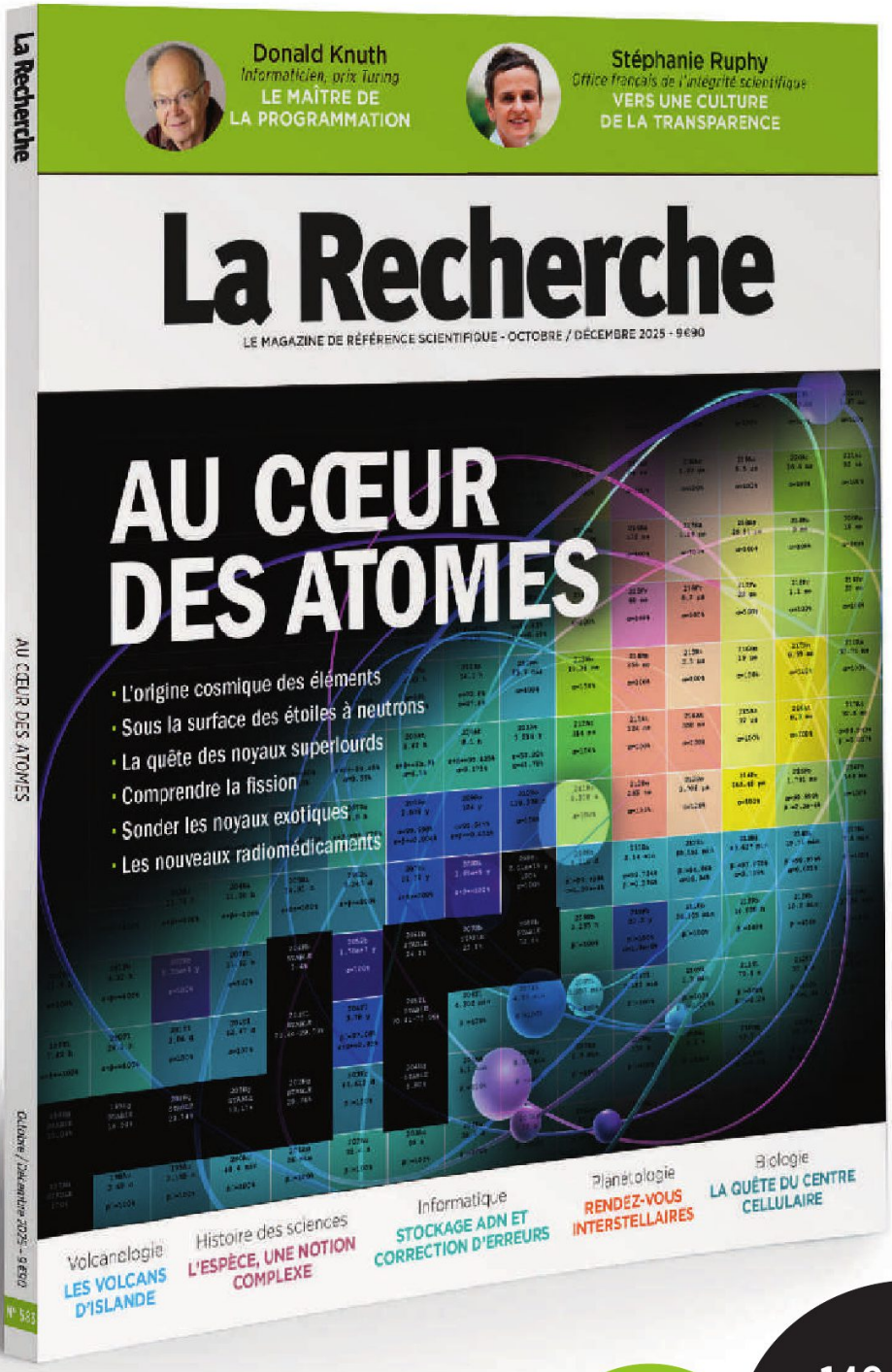
Facebook

La maladie de Parkinson pourrait être causée par un pathogène inconnu dans le microbiote. Il passerait de l'appareil digestif vers le cerveau à travers le nerf vague jouant le rôle de déclencheur de la maladie.
sciav.fr/944park

30 SCIENTIFIQUES
PARTICIPENT À CE NUMÉRO

La Recherche

LE MAGAZINE DE RÉFÉRENCE SCIENTIFIQUE



Chez votre marchand de journaux

148 pages
MAGAZINE-LIVRE
Trimestriel

Un zéro
dès la rentrée.

C'est le prix
de toutes
nos cartes.*

fortuneo
BANQUE

J'aime ma banque

*Fourniture d'une carte de débit (carte de paiement internationale à débit immédiat : Fosfo Mastercard, Gold CB Mastercard, World Elite CB Mastercard ou à débit différé : Gold CB Mastercard, World Elite CB Mastercard). Délivrance sous réserve d'acceptation par Fortuneo. Gratuité sous condition d'utilisation (Fosfo et Gold) ou sous réserve d'un versement mensuel de 4 000 € minimum (World Elite). À défaut, 3 €/mois pour la Fosfo Mastercard, 9 €/mois pour la Gold CB Mastercard et 50€/trimestre pour la World Elite CB Mastercard. Délai de rétractation de 14 jours. Voir tarifs et conditions sur fortuneo.fr. Fortuneo est une marque commerciale d'Arkéa Direct Bank. Arkéa Direct Bank, Société Anonyme à Directoire et Conseil de Surveillance au capital de 89 198 952 euros. RCS Nanterre 384 288 890. Siège social : Tour Trinity - 1 bis place de la Défense 92400 COURBEVOIE. Courtier en assurance n°ORIAS 07 008 441 – Adresse postale : FORTUNEO - TSA 41707 - 35917 RENNES CEDEX 9.